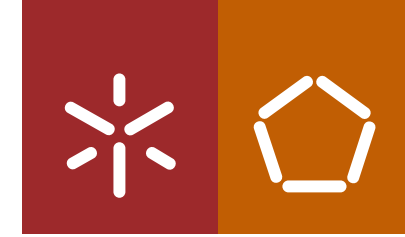




Manuel Francisco Cascais Warlaumont

Estudo e Caracterização da Fiabilidade de Um Equipamento de Deposição de Massa Lubrificante

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Manuel Francisco Cascais Warlaumont

Estudo e Caracterização da Fiabilidade de
Um Equipamento de Deposição de Massa
Lubrificante

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Luís Ferreira da Silva
Professor Doutor José Luís Carvalho Martins Alves

dezembro de 2013

DECLARAÇÃO

Nome: Manuel Francisco Cascais Warlaumont

Correio electrónico: a50169@mail.alunos.uminho.pt ou manuelcascais84@gmail.com

Tel./Tlm.: 966579159

Número do Bilhete de Identidade: 12508330

Título da dissertação: Estudo e Caracterização da Fiabilidade de Um Equipamento de Deposição de Massa Lubrificante

Ano de conclusão: 2013

Orientador(es): Luís Ferreira da Silva; José Luís Carvalho Martins Alves

Designação do Mestrado: Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia

Área de Especialização: Tecnologias da Manufatura

Escola: Escola de Engenharia

Departamento: Departamento de Engenharia Mecânica

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

2. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO (indicar, caso tal seja necessário, nº máximo de páginas, ilustrações, gráficos, etc.), APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

3. De acordo com a legislação em vigor, não é permitida a reprodução de qualquer parte desta dissertação

Guimarães, __/__/____

Assinatura: _____

"Conformar-se é submeter-se e vencer é conformar-se, ser vencido.

Por isso toda a vitória é uma grosseria.

Os vencedores perdem sempre todas as qualidades de desalento

com o presente que os levaram à luta que lhes deu a vitória.

Ficam satisfeitos, e satisfeito só pode estar aquele que se conforma,

que não tem a mentalidade do vencedor.

Vence só quem nunca consegue."

Fernando Pessoa

Resumo

A utilização de sistemas de lubrificação automática implica a compreensão e controlo de diversos factores influenciadores do processo, sendo que os grandes pontos ainda por explorar neste âmbito referem-se, respectivamente, a esse controlo e não a insuficiências relativas a automatismos ou mecanismos.

Desenvolveu-se, na empresa FEHST, um estudo destes factores, incidindo na lubrificação por massa lubrificante e tendo por base um equipamento de lubrificação por deposição automática já existente na empresa.

O objectivo deste trabalho consiste, assim, na compreensão dos factores influenciadores do processo de lubrificação por deposição automática de massa lubrificante. As sugestões de desenvolvimento visam possibilitar um controlo do processo, que seja executado de forma prática e adequada às necessidades produtivas da empresa.

São também apresentados e explicados quais os parâmetros de avaliação da deposição, bem como possíveis formas de inspecção automática, reduzindo ao mínimo a intervenção humana no controlo do processo.

Palavras-chave: Lubrificação Automática, Massa Lubrificante, Automação e Controlo.

Abstract

The usage of systems of automatic lubrication implies the understanding and control of several factors influencing this process. In this context, the major issues yet to be explored are, mostly, their control, and less any lack or misunderstanding of the automation procedures and/or automation equipment.

The study of these factors was carried out in FEHST Company, focusing in this grease lubrication and based on a company's already existent but not mastered automatic lubricating equipment.

The aim of this project was directed to the study and understanding of the factors that influence the automatic grease dispensing process, which might provide further suggestions capable to enable a better and a practical control of the production process according to the company's needs.

Grease drop evaluation parameters are also discussed, studied and explained, as well as possible ways for an automatic inspection that can minimize Human intervention in the control process.

Keywords: Automatic Lubrication, Grease, Deposition, Automation and Control.

Agradecimentos

Agradeço a todos os que contribuíram para que o presente trabalho fosse possível, bem como àqueles que me ajudaram ao longo da minha vida académica.

Agradeço ao orientador Luís Ferreira da Silva e co-orientador José Luís Carvalho Martins Alves por toda a disponibilidade e sugestões, bem como aos Engenheiros Normando Freitas, Guillaume Barros, Marcelo Rodrigues e Manuel Agostinho. Agradeço também ao Sr. José Dias, ao Sr. João Martins e ao Sr. Ricardo Pinheiro pelo acompanhamento prestado ao longo do trabalho.

Quero também agradecer a toda a minha família e amigos, especialmente à minha mãe, Ana Cascais, à minha namorada, Joana Sá e aos meus Avós, Manuel Cascais e Ana Cascais.

Índice

Resumo	III
Abstract.....	V
Agradecimentos	VII
Lista de Figuras	XIII
Lista de Tabelas.....	XVII
Lista de abreviaturas e siglas	XIX
1 Introdução	1
1.1 Contextualização do Projecto.....	1
1.2 O Projecto “Estudo e Caracterização da Fiabilidade de um Equipamento de Deposição de Massas Lubrificantes”	3
1.3 Estrutura da Dissertação.....	4
2 A empresa (história, missão e visão)	5
3 Introdução à lubrificação automática	7
3.1 Massas lubrificantes.....	7
3.1.1 Principais características.....	9
3.2 Sistemas de deposição automática de massa lubrificante.....	11
3.2.1 TPD ou “Time/Pressure Dispensing”	11
3.2.2 Tecnologia de válvulas.....	13
3.3 Equipamentos de deposição automática	19
4 Equipamento de lubrificação Fujitsu	23
4.1 Considerações	23
4.2 Descrição de funcionamento	25

4.3	Problemas de funcionamento (descrição)	31
4.4	Problemas de manutenção (descrição)	33
5	Parâmetros de avaliação da deposição	35
5.1	Diâmetro de gota.....	36
5.2	Volume de gota.....	37
5.3	Peso de gota.....	38
6	Factores de influência na deposição.....	39
6.1	Ponta distribuidora	39
6.1.1	Diâmetro Interno	39
6.1.2	Material	40
6.1.3	Forma	42
6.2	Altura de deposição	43
6.3	Tempo de deposição e pressão no material.....	47
7	Avaliação de melhorias ao equipamento	49
7.1	Sistema de bombeamento	49
7.1.1	Comportamento da massa no bombeamento.....	50
7.1.2	Avaliação de Melhorias	56
7.1.3	Sugestão de solução.....	60
7.2	Válvula reguladora de pressão.....	62
7.2.1	Proposta de solução	63
7.3	Válvula de distribuição	65
7.3.1	Proposta de solução	65
7.4	Sensor de caudal	66

7.4.1	Proposta de solução	66
7.5	Sistema de visão integrada	67
7.5.1	Proposta de solução	67
7.6	Ponta distribuidora	69
7.6.1	Proposta de solução	70
7.7	Altura de deposição	70
7.7.1	Proposta de solução	71
8	Conclusões.....	73
9	Referências	77
Anexo A	– Massa Lubrificante Berulub FR 43 “Ficha Técnica”	81
	Descrição	82
	Aplicação.....	82
	Vantagens / Benefícios.....	82
	Dados Técnicos.....	83

Lista de Figuras

Figura 1-Penetrómetro [4].	9
Figura 2-Ponto de gota [6].....	10
Figura 3-Sistema TPD.....	12
Figura 4-Variação do diâmetro das deposições com o nível do material [7].	13
Figura 5-Válvulas Temporizadoras.....	14
Figura 6-Válvula Temporizadora Fisnar [8].	15
Figura 7-Válvulas de Deslocamento Positivo.	16
Figura 8-Válvula com Parafuso de Alimentação [9].....	17
Figura 9-Válvulas com Êmbolo [8].....	18
Figura 10-Robô Cartesiano (à esquerda) e Robô Scara (à direita) [12].....	20
Figura 11-Braço Articulado de Seis Eixos [13].	21
Figura 12-Imagem Obtida por Inspeção Óptica [14]	22
Figura 13-Equipamento de Lubrificação Fujitsu.	23
Figura 14-Blenda Fujitsu.	24
Figura 15-Célula de Produção.....	25
Figura 16-Deslocamento Horizontal.	26
Figura 17-Posicionamento do Ninho nas Extremidades: 1-Bimanual.	27
Figura 18-Conjunto de Colocação de Massa.....	28
Figura 19-Válvula Doseadora [15].....	29
Figura 20-Ponta Distribuidora de Três Capilares.....	29
Figura 21- Alteração ao Sistema de Bombeamento.	30
Figura 22-Sistema de Bombeamento.....	31
Figura 23-Diferenças Entre Capilares.	32
Figura 24-Diferença de Altura Entre Capilares.	34
Figura 25-Espaço Para Afinação.....	35
Figura 26-Diâmetro de Gota.....	36

Figura 27-Diferentes Deposições [16].	37
Figura 28-Gota de Massa Lubrificante [16].	37
Figura 29-Relação Entre Diâmetro e Altura.	38
Figura 30-Pontas de Distribuição Poliméricas [18].	41
Figura 31-Pontas de Distribuição em Aço Inoxidável [19].	41
Figura 32-Pontas de Distribuição Com Chanfro [21].	42
Figura 33-Altura de Deposição.	43
Figura 34-Altura de Deposição Demasiado Elevada.	44
Figura 35-Altura de Deposição Demasiado Baixa.	45
Figura 36-Formação de Gota.	46
Figura 37-Abordagem Inicial à Altura de Deposição.	47
Figura 38-Variação Tempo/Pressão.	48
Figura 39-Descentralização do Sistema de Bombeamento.	49
Figura 40-Classificação dos Fluidos [23].	50
Figura 41-Variação da Viscosidade com a Taxa de Corte [23].	51
Figura 42 - Taxa de Corte [24].	51
Figura 43-Evolução da Viscosidade Aparente Com a Temperatura [26].	52
Figura 44-Evolução dos Módulos de Perda e Armazenamento [26].	53
Figura 45-Queda de Pressão na Tubagem [24].	54
Figura 46-Camada Limite [29].	55
Figura 47-Aproximação do Êmbolo.	58
Figura 48-Sistema com êmbolo cónico.	59
Figura 49-Sistema AAPG [16].	60
Figura 50-Sistema de bombeamento unitário [31].	61
Figura 51-Regulador de Pressão GP REEVES [16].	64
Figura 52-Válvula de Corte/Fitro/Regulador de Pressão [16].	64
Figura 53-Filtro de Massa Lubrificante [16].	65
Figura 54-Sensor Electrónico de Caudal [16].	67

Figura 55-Camera O2V121 [32].	69
-------------------------------------	----

Lista de Tabelas

Tabela 1- Consistência (ASTM) [3].	10
Tabela 2-Comparação dos Sistemas de Deposição Automática.	19
Tabela 3-Pontas Distribuidoras EFD.	40
Tabela 4-Resumo de Propostas de Solução.	71

Lista de abreviaturas e siglas

TPD – Time Pressure Dispensing.

PLC - Programmable Logic Controller.

Dg – Diâmetro de Gota.

Di – Diâmetro Interno da ponta Distribuidora.

V – Volume de Gota.

H – Altura de Gota.

h – Altura de Deposição.

R – Raio de Gota.

L – Comprimento de Material.

Vc – Volume de Cone.

τ – Tensão de Corte.

γ – Taxa Média de Corte

F_a – Força de Atrito.

cP – Centipoise.

1 Introdução

1.1 Contextualização do Projecto

Este projecto surge inserido no 5º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Minho e foi realizado na empresa FEHST Componentes entre Novembro de 2012 e Julho de 2013.

A indústria automóvel é considerada uma das indústrias com um grau de exigência dos mais elevados do mundo, fruto dos elevadíssimos padrões de qualidade impostos a toda a cadeia de fabrico.

A confiança nos fornecedores é um ponto fulcral, não apenas nos fabricantes de automóveis propriamente ditos, mas em toda a cadeia de colaboradores; qualquer interveniente neste processo procura fornecedores que tenham em conta as necessidades dos seus clientes, que tenham controlo e conhecimento do seu processo e que apostem na sua melhoria contínua. Assim, torna-se imperativa por parte das empresas envolvidas, a necessidade de controlar e garantir a qualidade em todas as fases de produção, sob pena de incorrerem, quer em custos elevados, quer em perda de confiança por parte dos seus colaboradores. Um controlo rigoroso de todos os parâmetros envolvidos em cada fase da produção oferece a segurança e confiança necessárias para que se encarem possíveis reclamações e/ou não conformidades, resultando numa resolução mais rápida e melhor direccionada ao problema em questão.

É neste contexto de competitividade que a eficiência e fiabilidade dos equipamentos de produção se tornam preponderantes, quer na produtividade, quer na garantia de qualidade que cada empresa confere nos seus produtos ou serviços. O contacto entre a FEHST Componentes e o Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade do Minho resulta assim em boa parte desta

necessidade de avaliar, e se possível melhorar, a eficiência e fiabilidade de um dos seus equipamentos.

O dispositivo em questão refere-se a um equipamento de lubrificação por deposição automática de massa lubrificante, que tem por função a lubrificação das guias da blenda de um auto-rádio. É sobre estas guias que irão trabalhar as respectivas teclas do auto-rádio.

A parceria estabelecida tem como objectivo mais abrangente permitir ao aluno um primeiro contacto com o mundo do trabalho, aproveitando os seus conhecimentos, quer em benefício da própria empresa, na resolução de um problema específico e real, quer num benefício académico para o aluno e para própria universidade, pela realização da dissertação de mestrado aqui consubstanciada.

1.2 O Projecto “Estudo e Caracterização da Fiabilidade de um Equipamento de Deposição de Massas Lubrificantes”

É objectivo deste trabalho, o estudo e caracterização da fiabilidade e repetibilidade de um equipamento de deposição, por deposição ‘controlada/automática’ de massa lubrificante, nas interfaces dos elementos móveis das blendas de auto-rádios.

Pretende-se que, a partir deste estudo e acompanhamento dos problemas efectivos da fase da produção, estes sejam caracterizados, identificadas as suas causas e, no final, propostas soluções, quaisquer que sejam as suas causas/origens.

Por outro lado, impõe-se uma caracterização das condições actuais de funcionamento do equipamento, nomeadamente no que se refere à fiabilidade e robustez do processo de deposição de massa lubrificante, quaisquer que sejam as suas condições de utilização.

Uma vez identificados os problemas e respectivas causas, são propostas alterações que deverão permitir um maior controlo sobre os parâmetros de deposição e de verificação da qualidade da operação.

Pretende-se, assim, que a empresa fique dotada do conhecimento necessário para o correcto desenvolvimento de equipamentos similares futuros, ou mesmo para alteração do actual, conhecimento este que permita um controlo e inspecção mais efectivo do processo de deposição.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em oito capítulos que se encontram, por sua vez, divididos em vários subcapítulos.

No segundo capítulo é apresentada a história, missão e visão da empresa FEHST, sendo também dada uma breve explicação do seu ramo de actividade.

No terceiro capítulo é feita a introdução à lubrificação automática, sendo apresentadas algumas características das massas lubrificantes, são também apresentados, quer os diversos sistemas de deposição automática, quer os equipamentos existentes no mercado.

O capítulo quatro tece algumas considerações introdutórias em relação ao equipamento em estudo, descrevendo-se também aqui o seu funcionamento. Neste capítulo são ainda identificados os seus problemas de funcionamento e de manutenção.

No quinto capítulo são apresentados e explicados os parâmetros de avaliação da deposição.

O capítulo sexto identifica e explica os diversos factores de influência na deposição, sendo aqui apresentadas algumas considerações acerca do nível de influência de cada um deles.

No capítulo sete é dada uma explicação quer das causas quer dos efeitos referentes aos problemas de funcionamento do equipamento em estudo, para além disso, são também identificadas e sugeridas, possíveis soluções para a sua resolução.

No oitavo e último capítulo são apresentadas as conclusões desta dissertação.

A dissertação contém ainda o “Anexo-A” no qual é apresentada a ficha técnica da massa lubrificante utilizada.

2 A empresa (história, missão e visão)

O início de actividade do que é hoje a empresa FESHT data de 1965 como unidade integrada na Grundig, em Braga, sendo que a sua principal actividade consistia, então, na produção de componentes metálicos e poliméricos, PCB's e transformadores de corrente para TV's e aparelhos HI-FI.

Em 1995 dá-se a fundação da empresa FEHST, após um processo de aquisição à Grundig *Components*. A sua actividade é, hoje, fundamentalmente direccionada para a indústria automóvel, essencialmente na produção e montagem de componentes metálicos e poliméricos para auto-rádios e painéis de bordo (*dashboards*).

Em resultado do re-direccionamento da empresa, vem o reconhecimento como fornecedor qualificado de módulos mecânicos e decorativos para a indústria automóvel pela ISO TS 16949. A certificação pela norma ISSO 14001 atesta a existência de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) efectivo, que garante a coexistência equilibrada entre a rentabilidade e o esforço de redução dos impactos ambientais. Para além destas certificações é também de relevar a importância da certificação pela norma ISO 9001, a qual, em si mesma, constitui uma referência internacional para a Certificação de Sistemas de Gestão de Qualidade, reconhecendo o esforço da empresa em assegurar a conformidade dos seus produtos e serviços, a satisfação dos seus clientes e a melhoria contínua.

Entre 2008 e 2009 é atribuído à FEHST o estatuto de “PME Líder”, e é no período entre 2010 e 2012 que um novo estatuto de “PME Excelência” é recebido.

Todos estes reconhecimentos, para além de indicadores acerca do percurso efectuado, representam também, num meio tão competitivo como a indústria automóvel, um factor de confiança e credibilidade, factores estes que não devem nem podem ser descurados na sua importância. A empresa FEHST tem a visão de ser um dos melhores fornecedores de soluções no uso de polímeros e chapa metálica.

3 Introdução à lubrificação automática

A lubrificação tem como objectivo principal a redução, quer do atrito, quer do desgaste, sendo que pode também apresentar benefícios relacionados com a diminuição do ruído. O lubrificante constitui assim o elemento utilizado para que esta finalidade seja atingida, podendo existir diversos tipos de lubrificantes, sejam estes gasosos, líquidos, massas lubrificantes ou lubrificantes sólidos [1].

Uma vez que o equipamento alvo de estudo tem como finalidade a lubrificação por massa lubrificante será sobre este tipo de lubrificante que incidirá esta introdução teórica.

3.1 Massas lubrificantes

As massas lubrificantes são constituídas por um óleo lubrificante (mineral ou sintético), um espessante (sabão) e aditivos, classificando-se normalmente de acordo com o tipo de sabão que as constitui. Na verdade, o responsável pela lubrificação propriamente dita é o óleo contido na massa, que é por sua vez retido pelo agente espessante [2].

$\text{Espessante} + \text{Fluido} + \text{Aditivos} = \text{Massa Lubrificante}$

As características das massas são dependentes do tipo de óleo e aditivos que incorporam, e ainda do tipo de sabão que lhes dá consistência, sendo que geralmente são designadas pelo tipo de sabão:

- **À base de sabões de cálcio:** massas de estrutura macia e que apresentam boa estabilidade mecânica, mas que, no entanto, apenas suportam temperaturas até 80 °C, sendo estáveis com percentagens de água de 1 a 3 %.

Este tipo de massas lubrificantes é recomendado para aplicações que possam estar expostas à humidade, sendo recorrentemente utilizadas em ambiente marinho.

Quando estabilizadas com outro agente que não água, as massas à base de cálcio podem ser utilizadas a temperaturas de cerca de 120 °C.

- **À base de sabões de sódio:** são massas que permitem uma abrangência de aplicações mais elevada do que as de cálcio. Como vedantes apresentam boas propriedades e podem ser utilizadas com temperaturas até 120°C.
- **À base de sabões de lítio:** massas gordurosas e resistentes à água. Conseguem suportar temperaturas até 150 °C. São muitas vezes utilizadas como massas de aplicação múltipla, porque congregam em si as propriedades das massas anteriormente apresentadas.
- **À base de sabões de bário:** têm características e campo de aplicação semelhante às massas de base de lítio.
- **À base de sabões de alumínio:** a estrutura apresentada por estas massas é macia e resistente à acção da água, no entanto a sua temperatura de utilização não deve exceder os 70°C, e não devem ser utilizadas em aplicações de alta velocidade.
- **À base de sabões de base mista:** por vezes são utilizadas misturas de sabões com o objectivo de se conseguir fabricar massas com características superiores às conseguidas isoladamente, a partir do uso de apenas um tipo de sabão. Por exemplo, aplicam-se com frequência em equipamentos muito pesados, misturas de cálcio e chumbo, que permitem obter massas com características das de base de cálcio, acrescidas de uma enérgica acção redutora do desgaste, sob cargas pesadas, conferida pelo sabão de chumbo [3].

3.1.1 Principais características

3.1.1.1 Espessante

As massas lubrificantes, uma vez que são materiais bifásicos com comportamento não-newtoniano (viscosidade não constante para diferentes velocidade de deformação) são classificadas pela sua viscosidade aparente ou consistência.

Para a medição da consistência é usado um cone, um recipiente contendo o material a ser analisado e uma escala em 1/10 mm. A temperatura de ensaio deve ser de 25°C e é medida a penetração do cone na massa. O equipamento usado neste ensaio é designado por “Penetrómetro” (Figura 1).



Figura 1-Penetrómetro [4].

Em regra a penetração é feita em repouso. No entanto, para a verificação da estabilidade da massa ao trabalho, pode ser executado um ensaio com um número de ciclos que vai de 60 a 100.000 ciclos. Caso a penetração seja elevada nesse número de ciclos, isso é um indicador que o sabão ou o espessante apresentam baixa resistência ao trabalho.

A classificação mais simples de consistência de massa lubrificante é dividida em 9 classes, e medida como penetração trabalhada (60 ciclos) de acordo com a DIN ISO 2137.

Tabela 1- Consistência (ASTM) [3].

Classificação das graxas NLGI pelo número de consistência NLGI		
Numero NLGI	Penetração Trabalhada ASTM (10^{-1} mm)	Aspecto à Temperatura ambiente
000	445 - 475	Fluida
00	400 - 430	Semifluida
0	355 - 385	Muito macia
1	310 - 340	Macia
2	265 - 295	Normal
3	220 - 250	Firme
4	175 - 205	Muito Firme
5	130 - 160	Dura
6	85 - 115	Muito Dura

O ponto de gota de uma massa lubrificante constitui, por seu lado, uma indicação da temperatura à qual a massa passa do estado sólido ou semi-sólido, para o estado líquido, e é uma orientação para a determinação da temperatura máxima de trabalho a que a massa pode ser submetida. Como limite, a temperatura de submissão da massa deve ser 20% inferior ao seu ponto de gota (Figura 2) [3] [5].

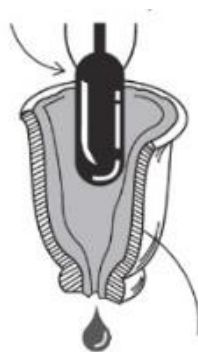


Figura 2-Ponto de gota [6].

3.1.1.2 Óleo de base

O ponto de fluxão de um óleo é a temperatura mais baixa, expressa em múltiplos de 3 °C, à qual é observada ausência de fluidez quando este é arrefecido sob determinadas condições de ensaio. O ponto de fluxão permite, portanto, estabelecer a temperatura mínima, à qual um óleo permanece suficientemente fluído para assegurar condições de lubrificação efectiva. Na prática, o óleo não deve ser usado se a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura do ponto de fluxão for inferior a 10°C.

O ponto de inflamação de um óleo pode ser definido como a temperatura mais baixa a que os vapores do óleo se inflamam. É uma indicação da capacidade de resistência ao fogo de um lubrificante, e deve constituir um aviso para os danos que podem ser causados por temperaturas excessivas [3] [5].

3.2 Sistemas de deposição automática de massa lubrificante

3.2.1 TPD ou “Time/Pressure Dispensing”

Cerca de 70 % dos sistemas de deposição automática utilizados na indústria obedecem ao princípio de TPD, ou “Time/Pressure Dispensing” e é a este tipo de sistema que se deve a grande evolução na aplicação de colas, tintas, substâncias médicas, etc.

A técnica TPD utiliza o controlo da pressão exercida sobre o material lubrificante, em conjunto com o controlo do tempo de aplicação da mesma, para que assim se consiga o controlo da deposição. Quanto maior a pressão e quanto maior o tempo de aplicação, assim será maior a quantidade de material depositado.

O sistema automático mais básico, mas que ainda assim obedece ao princípio de TPD, é constituído por um controlador que estabelece a pressão e o tempo do impulso

de ar, por uma cabeça receptora, pela seringa e pela ponta distribuidora. O impulso de ar controlado faz com que o material lubrificante seja obrigado a sair da seringa para a ponta distribuidora e desta para a superfície de aplicação (Figura 3).

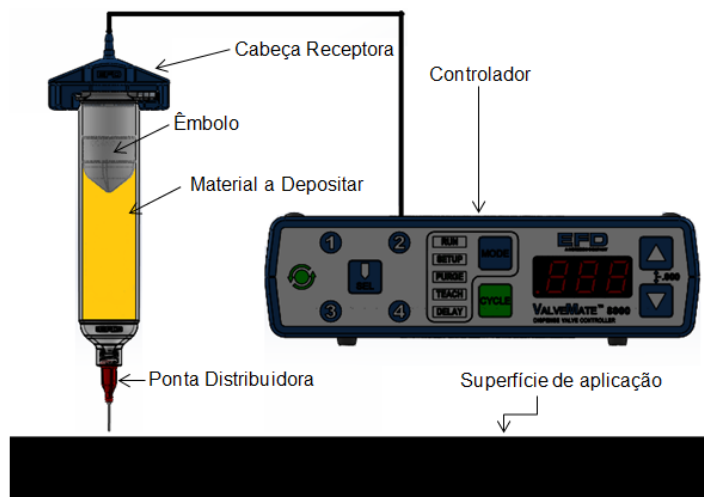


Figura 3-Sistema TPD.

As principais vantagens do TPD relacionam-se com o seu baixo custo e com o facto de constituir um método de deposição de configuração e uso simples. Já as principais desvantagens dizem respeito à sua baixa repetibilidade, que é tipicamente de $\pm 10\%$, o que pode, apesar de tudo e para algum tipo de aplicações, ser perfeitamente aceitável.

Quando a seringa está cheia de material lubrificante e o processo de deposição é iniciado, existe muito pouco ar na seringa, em comparação com o material lubrificante existente. Durante este tempo, a deposição é muito repetível [7].

À medida que o nível de massa na seringa diminui na sequência de múltiplas deposições, o volume de ar na seringa aumenta e torna-se necessário mais tempo para compactar os maiores volumes de ar acima do material, isto devido à elevada compressibilidade do ar [7].

Estas diferenças de tempo de pressurização induzem mudanças significativas nos volumes de deposição (Figura 4).

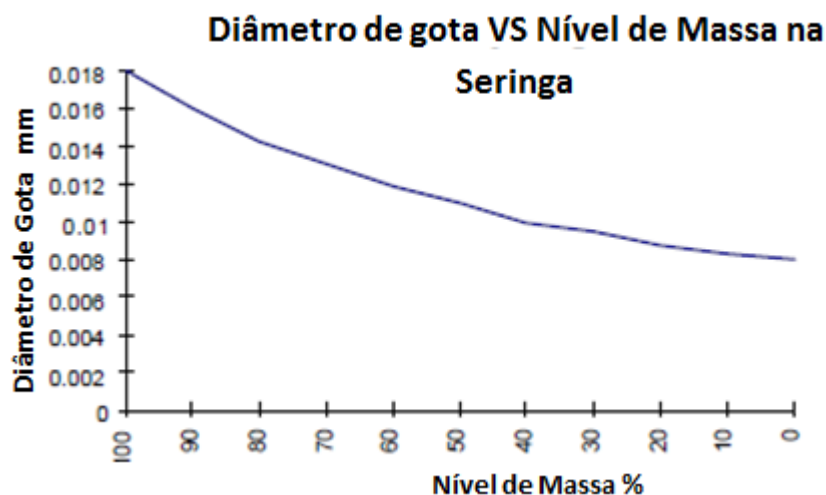


Figura 4-Variação do diâmetro das deposições com o nível do material [7].

Para colmatar estes problemas de consistência da deposição, são normalmente usados sistemas de inspeção visual por câmaras, os quais, detectando uma variação do diâmetro de gota para valores que não se enquadrem nos limites pré-estabelecidos, fazem emitir um aviso ao operador, que por sua vez deve proceder a uma regulação do tempo de deposição ou da pressão exercida no material [7].

Outra das desvantagens que os sistemas deste tipo apresentam não tem a ver com a sua repetibilidade, mas sim com o escorrimento do material pela ponta distribuidora. Este fenómeno tem mais probabilidade de ocorrer para materiais de baixa viscosidade, ou então em paragens prolongadas. Ele acontece pela inexistência de uma barreira física que impeça a resposta normal do material à gravidade, ou seja, o seu escorrimento pela ponta distribuidora.

3.2.2 Tecnologia de válvulas

3.2.2.1 Válvulas temporizadas

O uso de válvulas temporizadas, tal como a válvula que é utilizada no equipamento alvo deste estudo, implica que o material seja escoado por uma válvula *on-off*, que é

aberta ou fechada por uma válvula com comando solenóide e controlada por um PLC ou por um controlador electrónico (Figura 5).

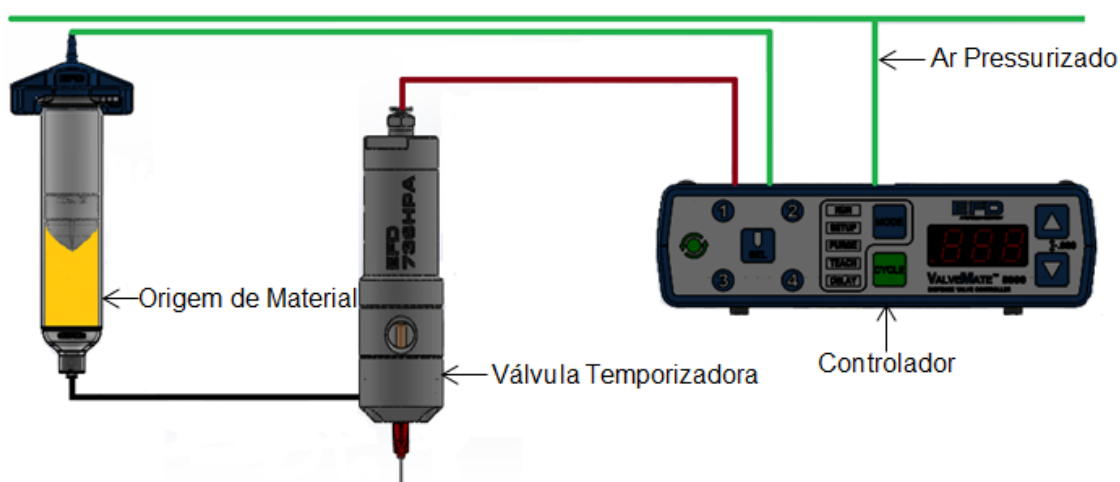


Figura 5-Válvulas Temporizadoras.

Estas válvulas são capazes de depositar materiais que vão desde 5000 cP para 3000.000 cP e são perfeitamente adequadas para a distribuição de massa lubrificante.

Este tipo de válvulas utiliza um êmbolo accionado por ar para abrir e fechar o caminho do lubrificante. A pressão acciona o êmbolo para baixo para abrir a percurso e quando a deposição é concluída, a mola de compressão interna levanta o êmbolo para cima para manter a válvula na posição fechada. A acção de retorno do êmbolo cria um efeito de sucção natural, sendo que este recurso é muito eficaz para estancar o fluxo ou escorrimento de material pela ponta distribuidora.

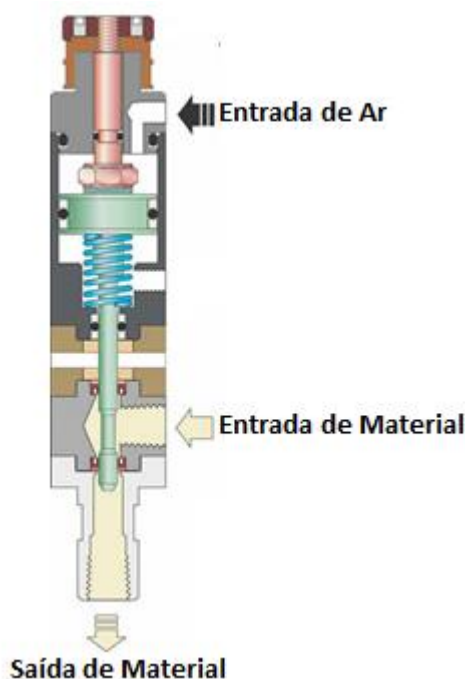


Figura 6-Válvula Temporizadora Fisnar [8].

No entanto, este tipo de válvulas apresenta um ponto fraco em comum com todos os outros tipos de válvulas pneumáticas, sendo este o facto de que é susceptível à flutuação da viscosidade do material. Quando a viscosidade do lubrificante varia, a pressão do fluido tem de ser ajustada em conformidade, para que assim se mantenha a estabilidade do processo de deposição. Isto significa que o volume de material depositado não depende exclusivamente da correcta parametrização da válvula, mas também do material utilizado e da pressão de deposição utilizada.

Em relação ao sistema TPD típico, o uso deste tipo de válvulas permite um melhoramento do controlo sobre o processo. Todavia, como anteriormente referido, muitos dos seus problemas reflectem-se também nestas válvulas.

3.2.2.2 Válvulas de deslocamento positivo

Nas válvulas de deslocamento positivo, um êmbolo ou um parafuso de Arquimedes, são os agentes que proporcionam a transferência de material, o que faz com que a quantidade de material depositada, não esteja dependente do factor tempo. A quantidade de material depositada é função do curso e área do êmbolo, ou passo e

número de voltas do parafuso (Figura 7). Este facto torna o uso deste tipo de válvulas especialmente aconselhado quando o material a depositar é não-newtoniano, uma vez que a pressão aplicada na origem do material é apenas a suficiente para que este chegue até à válvula, o que implica pressões reduzidas, induzindo alterações menores na viscosidade do material do que em aplicações em que as pressões são mais elevadas.

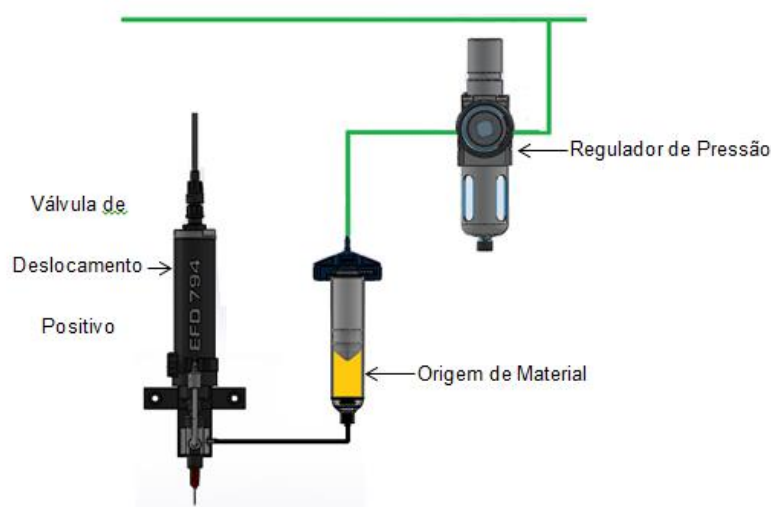


Figura 7-Válvulas de Deslocamento Positivo.

3.2.2.2.1 Válvulas com parafuso de alimentação

Este tipo de válvulas surge com o objectivo de minimizar os problemas impostos pelo uso de válvulas temporizadoras.

As válvulas com parafuso de alimentação utilizam um parafuso de Arquimedes como sistema de alimentação, acoplado com um motor de precisão (motor com *encoder*) para depositar o lubrificante com uma acção de deslocamento rotativo. Assim, a pressão a que o lubrificante tem que estar sujeito na entrada do parafuso de alimentação é muito menor, uma vez que a distribuição do lubrificante para a ponta de distribuição é feita pela rotação controlada do parafuso de alimentação.

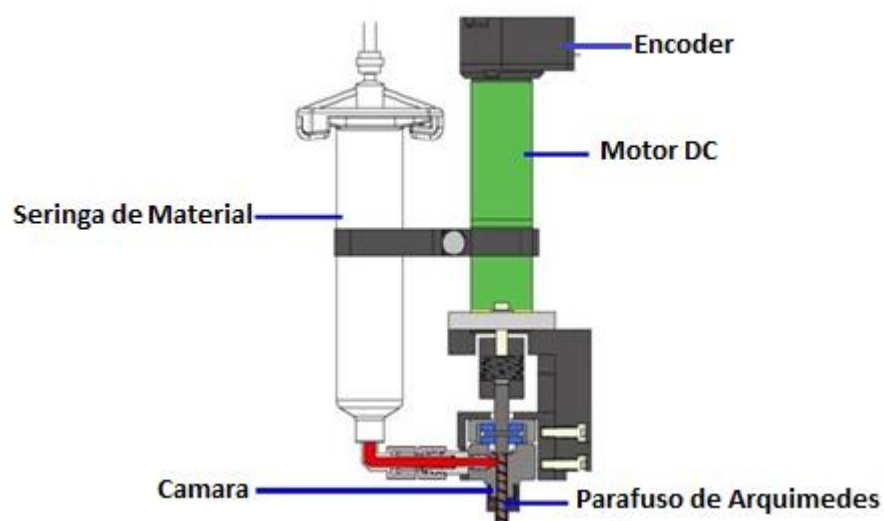


Figura 8-Válvula com Parafuso de Alimentação [9].

Este tipo de válvulas permite diâmetros de gota mínimos de 0,25 mm, sendo que o caudal de deposição é controlado pelo passo do parafuso e pela velocidade do motor. A sua repetibilidade anda entre os $\pm 4\%$ e os $\pm 10\%$.

Um equívoco muito comum no uso deste tipo de válvulas reside no aumento da pressão no lubrificante para aumentar a taxa de deposição. No entanto este aumento da pressão torna o parafuso de alimentação semi-redundante contrariando o seu movimento. Um maior rendimento é obtido através da selecção de um parafuso de alimentação com um passo maior, ou através do aumento da velocidade do motor. Em regra, um parafuso com um passo menor irá reduzir a taxa de deposição, mas a exactidão e repetibilidade aumentam. Já um passo mais largo apresenta taxas de deposição maiores, mas, todavia, a exactidão e repetibilidade da deposição reduzem-se.

Em relação às válvulas temporizadas, as válvulas com parafuso de alimentação apresentam a desvantagem de, tal como os sistemas TPD, não incluírem uma barreira física que impeça o escorrimento da massa, pelo que este fenómeno é recorrente [10].

3.2.2.2.2 Válvulas com êmbolo

As válvulas de deslocamento positivo com êmbolo funcionam sobre o princípio volumétrico de deslocamento do êmbolo, ou seja, o êmbolo ao deslocar-se vai ocupar o volume que era ocupado pelo material na câmara expulsando-o pela ponta distribuidora.

Este tipo de funcionamento, torna este tipo de válvulas, independente de variações na viscosidade do fluido, no tempo de deposição e na pressão aplicada, permitindo a deposição constante, da mesma quantidade de material. Neste aspecto da consistência da deposição, este tipo de válvulas é dos mais fiáveis.

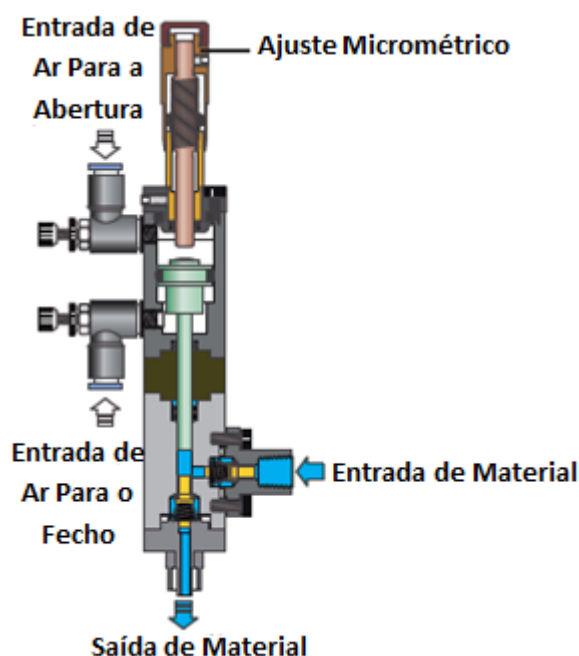


Figura 9-Válvulas com Êmbolo [8].

Na Tabela 2 pode observar-se uma comparação qualitativa entre os diversos sistemas de deposição automática supra mencionados.

Tabela 2-Comparação dos Sistemas de Deposição Automática.

Comparação dos Sistemas de Deposição Automática			
Sistema de Deposição Automática	Nível de Influência da viscosidade do material na deposição	Controlo sobre a Deposição	Custo
TPD	Elevado	Baixo	Baixo
Válvulas Temporizadoras	Elevado	Médio	Médio
Válvulas de Deslocamento Positivo	Baixo	Elevado	Elevado

3.3 Equipamentos de deposição automática

Os equipamentos de deposição automática são usados em diversas indústrias tão distintas como a indústria médica, indústria automóvel ou a indústria de componentes electrónicos.

Grande parte das soluções ditas *standard*, e que podem ser comumente encontradas no mercado, baseiam-se em robôs cartesianos. Estes equipamentos são constituídos geralmente por três eixos lineares, sendo que cada um deles é perpendicular ao outro e o seu movimento dá-se em linha recta. Os robôs cartesianos apresentam um baixo custo relativo, mas apresentam no entanto algumas limitações de movimentação.

Equipamentos do tipo “Scara” também se encontram disponíveis no mercado para aplicações de deposição. Estes robôs são de concepção para a manipulação e montagem de peças que se encontrem num nível paralelo umas às outras. É usado exclusivamente um eixo para elevar um componente e movimentá-lo, afastando-o da superfície de trabalho. Assim a aplicação destes robôs ao processo de deposição encontra as mesmas limitações de movimentação que se encontram nas restantes utilizações que lhe são dadas. Os equipamentos do tipo “Scara” são conhecidos pela sua elevada velocidade e precisão [11].



Figura 10-Robô Cartesiano (à esquerda) e Robô Scara (à direita) [12].

O tipo de equipamento mais comum nas aplicações de deposição automática consiste num braço articulado de seis eixos. Estes equipamentos permitem cargas mais elevadas e com maior liberdade de movimento, permitindo a lubrificação em sítios de difícil acesso para outro tipo de equipamento. Estes robôs apresentam também uma grande versatilidade de instalação, podendo ser instalados sobre o chão ou então sobre um pórtico, de modo a facilitar o acesso ao componente a lubrificar (ver instalação na Figura 11) [11].

Para além da facilidade de aceso, o uso deste tipo de equipamentos permite ainda a execução de deposições com diferentes inclinações, o que em determinadas aplicações pode ser extremamente vantajoso.

Na Figura 11 pode ver-se um destes equipamentos. Neste caso trata-se de um equipamento desenvolvido pela empresa Sealant Equipment & Engineering, Inc., sendo que a empresa disponibiliza diversas opções de sistemas de deposição para utilização em conjunto com o braço articulado.



Figura 11-Braço Articulado de Seis Eixos [13].

Todas estas soluções podem, no entanto, utilizar sistemas de deposição diferentes, tais como, sistemas TPD ou sistemas a válvulas, sendo que também existem sistemas com e sem sistemas de bombeamento centralizados.

Alguns destes equipamentos são detentores de tecnologia de processamento de imagem, que lhes permitem garantir a inspeção óptica automática da deposição do material.

Em casos de deposição por cordão estes sistemas podem avaliar a posição, largura e continuidade do cordão. Já em deposição por pontos os parâmetros que estes sistemas avaliam são a posição e o diâmetro de gota, sendo que, em qualquer dos casos, a avaliação pode ou não ocorrer continuamente durante o ciclo de deposição.

Em alguns modelos, o sistema de visão integrada apresenta a capacidade de fornecer dados fora da tolerância e, inclusive, em conjugação com o *software* de controlo do equipamento, proceder a um ajuste automático dos parâmetros de deposição de modo totalmente automático.

O sistema de visão é também geralmente aproveitado para localização do componente a lubrificar e, muitas vezes, para alterar as trajectórias do equipamento em questão, tornando-o adaptável à posição do componente.

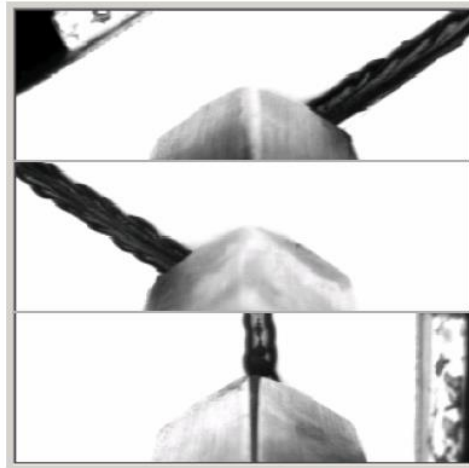


Figura 12-Imagem Obtida por Inspeção Óptica [14]

4 Equipamento de lubrificação Fujitsu

4.1 Considerações

O equipamento alvo de estudo neste trabalho é um equipamento de deposição de massas lubrificantes por deposição ‘controlada/automática’, nas interfaces com movimentos relativos dos elementos móveis das blendas de auto-rádios, tendo sido a sua concepção e desenvolvimento levada a cabo pela empresa Siroco Precision, empresa pertencente ao grupo FEHST (Figura 13).

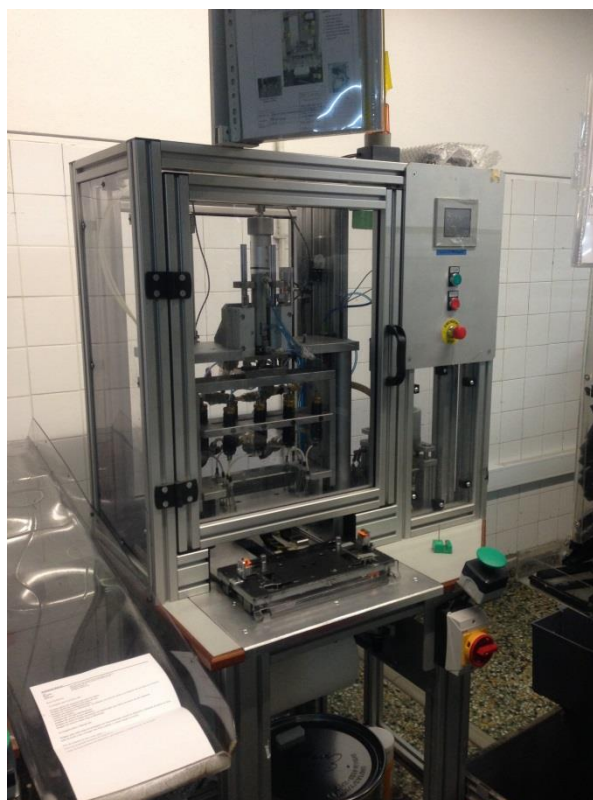


Figura 13-Equipamento de Lubrificação Fujitsu.

O objectivo do equipamento é o de proceder à lubrificação das guias das teclas da blenda do auto-rádio Fujitsu. A blenda apresenta seis teclas superiores e duas teclas inferiores com três guias para cada tecla, sendo que cada uma delas constitui um ponto de lubrificação, o número de pontos de lubrificação é de vinte e quatro (Figura 14).

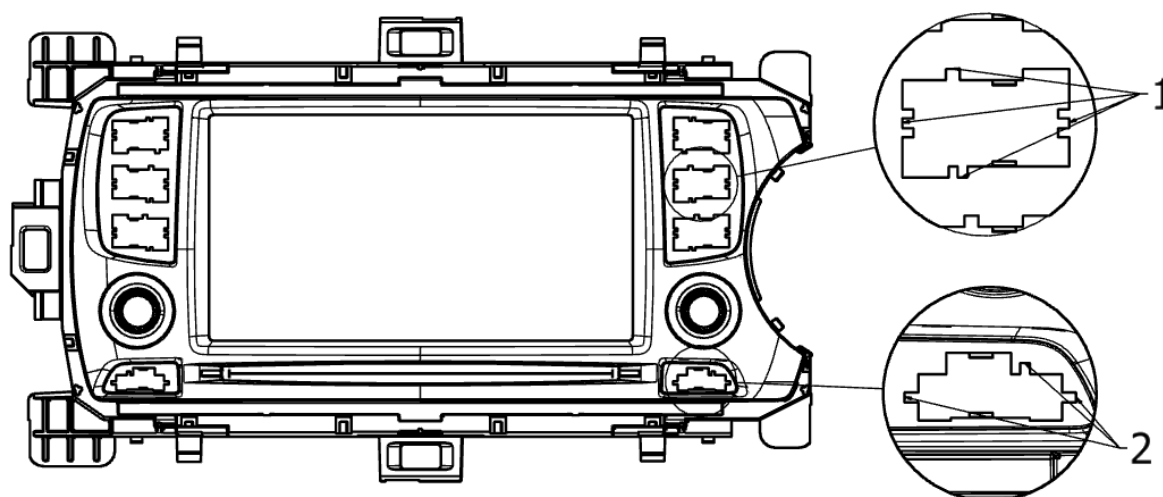


Figura 14-Blenda Fujitsu: 1-Guias das Teclas Superiores; 2-Guias das Teclas Inferiores.

O lubrificante utilizado é uma massa lubrificante “BERULUB FR 43” à base de sabão de lítio e que apresenta as seguintes características genéricas:

- ✓ Lubrificante especial para metais e materiais polímeros;
- ✓ Temperatura de serviço – 50 a + 140 °C;
- ✓ Excelente comportamento a baixa temperatura;
- ✓ Resistência à água e estabilidade à oxidação;
- ✓ Especialmente compatível para contacto plástico/plástico e aço/plástico;
- ✓ Consistência NLGI 2.

A distribuição da massa pela superfície da guia, com vista à criação de uma película homogénea, não é função deste equipamento e dá-se numa operação posterior de colocação das teclas. Ao serem colocadas manualmente, as teclas vão arrastar consigo o lubrificante, criando assim a respectiva película.

O equipamento enquadra-se numa célula de produção constituída por dois equipamentos distintos (Figura 15). No equipamento de lubrificação sobre o qual versa este trabalho é executada a deposição de massa lubrificante sobre as guias das teclas, sendo, num segundo equipamento, colocadas manualmente as teclas e testado o seu bom funcionamento, concluindo-se assim a acção da célula sobre o produto.



Figura 15-Célula de Produção.

As operações manuais sobre os equipamentos são executadas por operários distintos.

4.2 Descrição do procedimento

A blenda do auto-rádio é colocada manualmente pelo operador num suporte de alumínio denominado por “ninho”, conseguindo-se esta operação com recurso a dois pinos de fixação, os quais se encontram fixos à base por ligações aparafusadas. O “ninho”, para além desta função de “receber” e fixar a blenda do auto-rádio, é parte integrante do mecanismo de transporte da blenda até ao ponto/posição na qual será efectuada a deposição da massa lubrificante e, posteriormente, no fim do ciclo, de volta ao operador após lubrificação, para que este possa retirar a blenda. Este transporte resulta da acção do actuador pneumático horizontal cuja fixação ao “ninho” é proporcionada pelo seguinte conjunto de componentes: accionamento do cilindro, accionamento intermédio e fixador do accionamento (Figura 16).

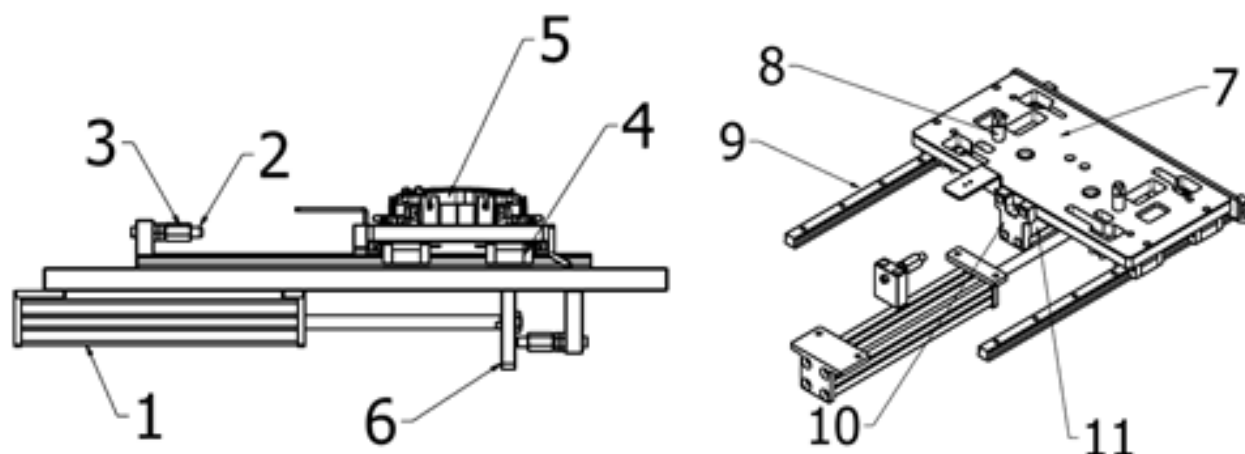


Figura 16-Deslocamento Horizontal: 1-Actuador Pneumático Horizontal; 2-Amortecedor; 3-Batente Mecânico; 4-Rolamento Linear; 5-Blenda; 6-Accionamento do Cilindro; 7-Base do Ninho; 8-Pino de Fixação; 9-Guias Lineares; 10-Fixador do Accionamento; 11-Accionamento Intermédio.

A acção de transporte é executada segundo ordem do operário, o qual, numa primeira fase, pressiona um actuador bi-manual até que a blenda atinga a posição de lubrificação e, a partir desse momento, o ciclo ocorre de forma autónoma e automática. No presente estado do equipamento, porém, para que seja ordenado o início de ciclo, basta que o operário pressione o único manual que a máquina possui e o ciclo inicia-se. O accionamento dá-se, sem que o operário tenha de permanecer a pressionar o manual, sendo que esta alteração ao equipamento resulta essencialmente da necessidade de ter um mesmo operário a manobrar dois equipamentos distintos. A não existência da necessidade de pressionar o actuador bi-manual liberta o operário para a operação de um outro equipamento, isto enquanto o equipamento de lubrificação completa o seu ciclo.

Esta alteração feita ao estado inicial da máquina permite, assim, diminuir o tempo necessário para esta operação. Todavia, pode também constituir um perigo adicional para o operário, que ao não ter a obrigação de exercer pressão em permanência sobre o actuador bi-manual, pode, por qualquer motivo, sofrer um acidente pelo movimento do “ninho” (Figura 17).

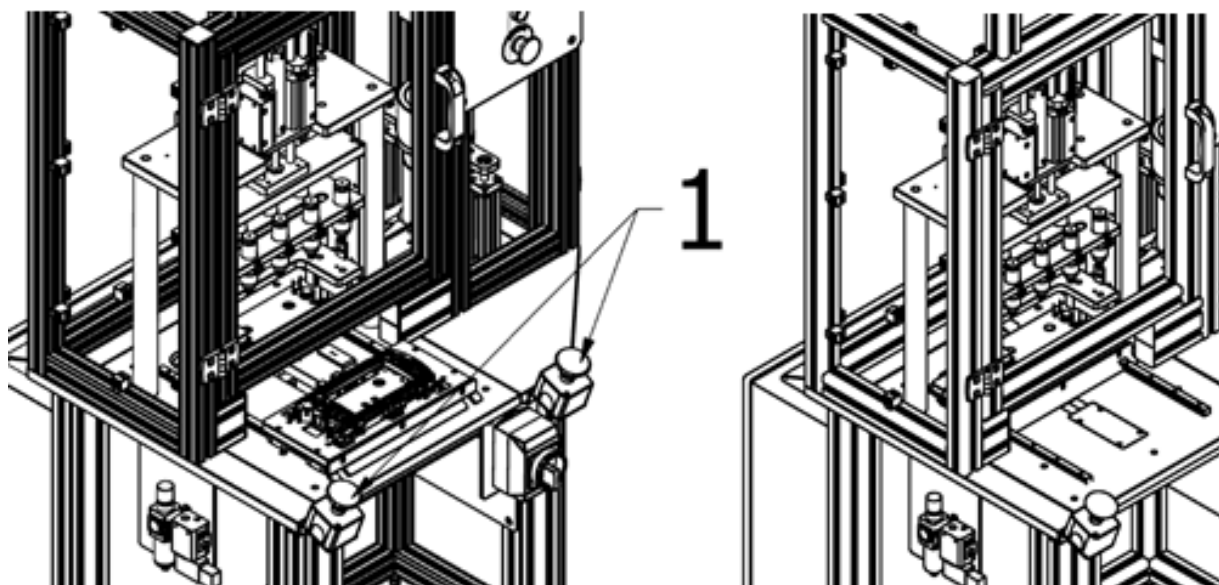


Figura 17-Posicionamento do Ninho nas Extremidades: 1-Bimanual.

Encontrando-se a blenda na sua posição de lubrificação, o ciclo do equipamento continua com a acção de descida do conjunto de colocação de massa, acção de descida esta que é promovida pelo actuador pneumático vertical de duplo efeito. Este actuador, para além de promover o movimento, também o restringe, uma vez que tem incorporadas na sua estrutura duas guias que permitem apenas uma movimentação vertical do conjunto (Figura 18).

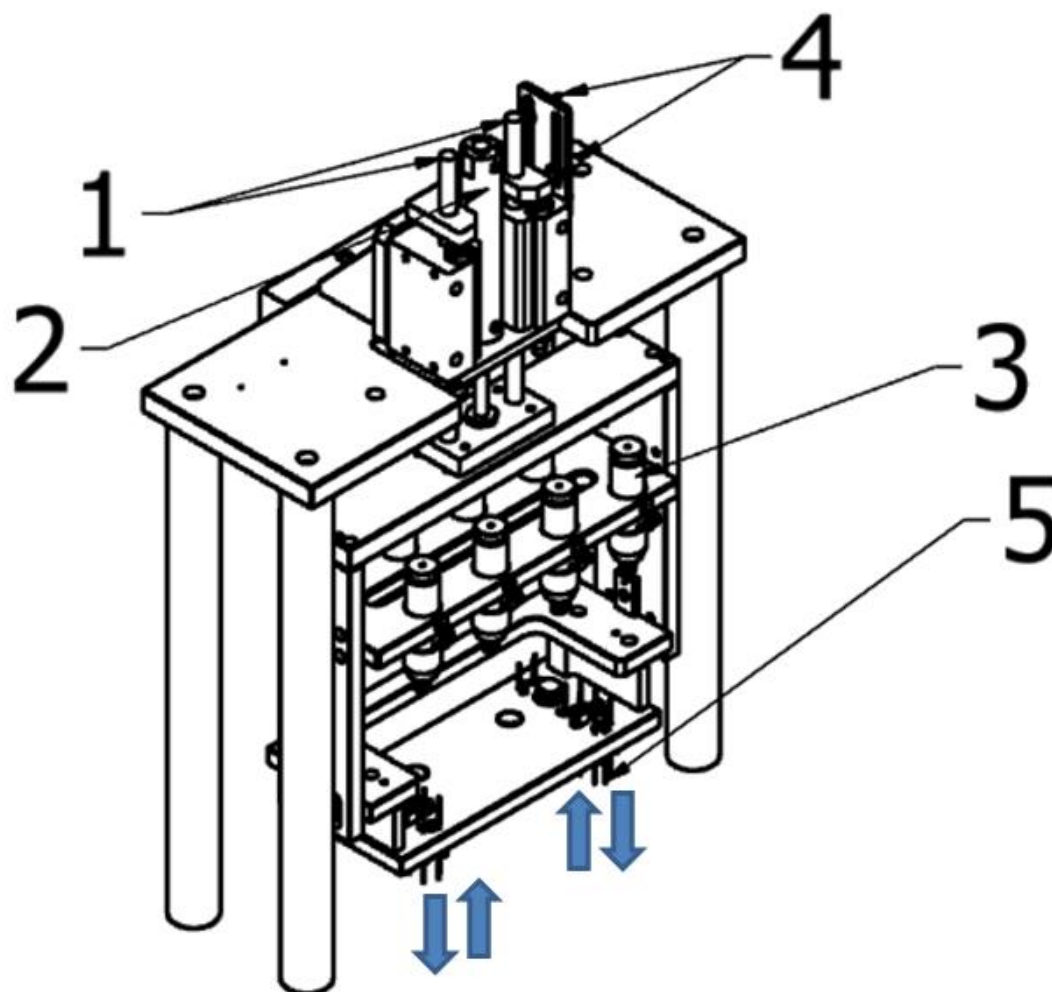


Figura 18-Conjunto de Colocação de Massa: 1-Guias do Actuador Vertical; 2-Actuador Vertical; 3-Válvula Temporizada; 4-Sensores; 5-Pontas Distribuidoras.

O conjunto de colocação de massa é constituído por oito válvulas temporizadas, normalmente fechadas e de acção pneumática. Estas válvulas funcionam segundo o mesmo princípio apresentado no capítulo anterior, ou seja, a entrada de ar sob pressão até 5 bar dá-se pela entrada (1) o qual, empurrando a haste (2), permite a passagem de lubrificante da entrada (3) para a saída (4). O alívio da pressão de ar permite o retorno da haste (2) à sua posição inicial estancando o fluxo de material (Figura 19) [15].

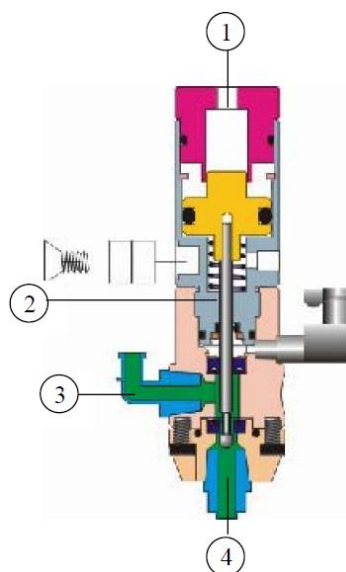


Figura 19-Válvula Doseadora: 1-Entrada de Ar; 2-Haste; 3-Entrada de Lubrificante; 4-Saída de Lubrificante [15].

A cada uma das válvulas de distribuição encontra-se acoplada uma ponta distribuidora com três capilares de aço inoxidável (Figura 20), com diâmetro interno de 1,1 mm, ou seja, cada uma das válvulas distribuidoras, juntamente com a respectiva ponta distribuidora, é responsável pela lubrificação de três pontos, prefazendo-se assim o total de vinte e quatro pontos a lubrificar.

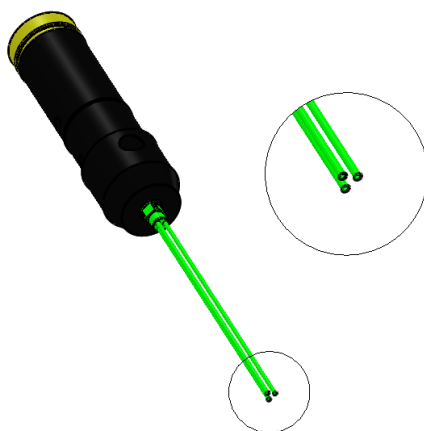


Figura 20-Ponta Distribuidora de Três Capilares.

Numa fase inicial o bombeamento do lubrificante para as válvulas distribuidoras seria conseguido directamente pelo sistema de bombeamento. Neste sistema o actuador pneumático de bombeamento de duplo efeito teria por função bombear a massa lubrificante desde a lata até às válvulas distribuidoras. No entanto, verificando-se que este bombeamento era feito de forma deficiente, procedeu-se à instalação de dois cartuchos pneumáticas intermédios, cartuchos estes para os quais a massa é bombeada e, por seu lado, estes são os responsáveis pelo envio da massa até às válvulas distribuidoras, sendo que cada cartucho intermédio alimenta quatro válvulas distribuidoras (Figura 21).

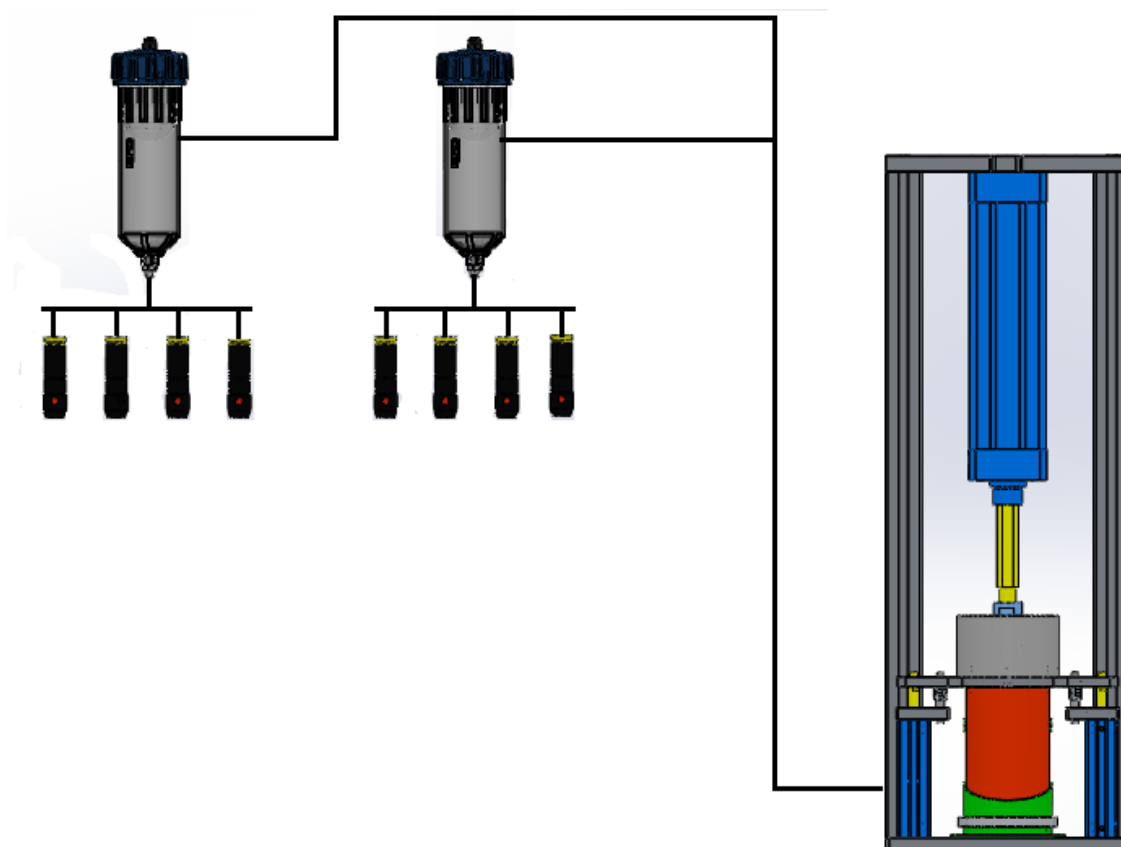


Figura 21- Alteração ao Sistema de Bombeamento.

O sistema de bombeamento é também constituído por outros dois actuadores pneumáticos de posicionamento, para além do actuador de bombeamento. Estes actuadores têm por função exclusiva posicionar o casquilho guia, que por sua vez é o

responsável por conduzir o êmbolo para que o seu deslocamento seja concêntrico com o suporte e a própria lata do lubrificante (Figura 22).

Encontra-se também presente no sistema um sensor de presença para verificação da presença da lata (Figura 22).

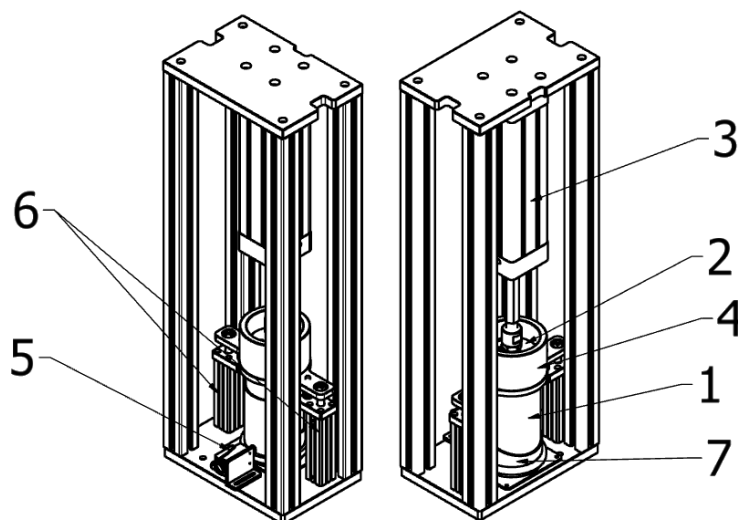


Figura 22-Sistema de Bombeamento: 1-Lata de Massa Lubrificante; 2-Êmbolo; 3-Actuador de Bombeamento; 4-Casquilho Guia; 5-Sensor de Presença da Lata; 6-Actuadores de Posicionamento; 7-Suporte da Lata.

4.3 Problemas de funcionamento (descrição)

Constituindo o primeiro equipamento de deposição projectado e construído pela empresa Siroco Precision, este apresenta alguns problemas de funcionamento.

- **Doseamento inconstante:** Este é o problema mais abrangente e cujas causas podem advir de um número de factores mais alargado. Denota-se no equipamento que a deposição ocorre de forma inconstante, quer ao longo dos diferentes ciclos de deposição, quer dentro do mesmo ciclo e entre as diferentes válvulas, quer mesmo entre os pontos depositados pelos diferentes capilares de uma mesma ponta distribuidora.

O que sucede é que uma vez regulados os parâmetros e atingida a quantidade de lubrificante que se pretende depositar, isto apenas acontece por um capilar, pelo que os restantes irão depositar uma quantidade superior ou inferior à pretendida, chegando mesmo em alguns pontos a não ser depositado qualquer material (Figura 23).

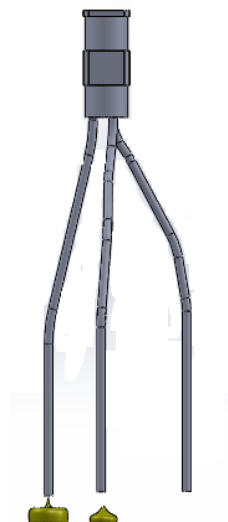


Figura 23-Diferenças Entre Capilares.

- **Bombeamento ineficaz:** O sistema de bombeamento presente no equipamento, deveria ser o responsável por alimentar todo o conjunto das oito válvulas doseadoras, no entanto, numa acção prévia ao início deste trabalho, a empresa FEHST viu-se obrigada a proceder a uma alteração do princípio de alimentação das válvulas doseadoras.

Uma vez que o sistema não fornecia um fluxo de massa lubrificante que permitisse a alimentação das válvulas, a opção recaiu sobre a utilização de dois cartuchos pneumáticos intermédios, que constituem um intermediário entre as válvulas de distribuição e o sistema de bombeamento centralizado (Figura 21).

Com esta alteração, aquele que deveria ser o sistema de bombeamento centralizado de massa lubrificante desde a lata até aos cartuchos intermédios, que, estes sim, passam a representar o sistema de bombeamento e alimentação das

válvulas, passa a constituir apenas um sistema de transferência até aos cartuchos intermédios.

Ainda assim, denota-se que a transferência do material para os cartuchos intermédios dá-se de forma pouco célere e com diferentes tempos de enchimento para cada um dos cartuchos.

- **Separação de fases:** A separação de fases da massa lubrificante ocorre no circuito por ela percorrido, resultando na separação do óleo do espessante e posterior fuga do mesmo pelas ligações entre tubagens.
- **Inclusão de ar:** Por vezes denota-se o aparecimento bolhas de ar nas tubagens, originando-se a obrigatoriedade de purgar o sistema até que as bolhas de ar sejam expelidas.

Quando a dimensão das bolhas não permite que estas sejam detectadas, ou pura e simplesmente a detecção não ocorre por um qualquer motivo, o ar segue o seu percurso até atingir as válvulas. Neste estágio do processo, o ar irá fazer com que as deposições não ocorram, ou que ocorram de forma incontrolável. Essa falta de controlo provocada pela inclusão de ar nas tubagens incide, quer sobre a quantidade, quer sobre a direcção, quer sobre a forma da deposição.

4.4 Problemas de manutenção (descrição)

Um dos grandes problemas de concepção do equipamento prende-se com a sua afinação e manutenção.

Em resultado das pontas distribuidoras serem constituídas por três capilares que necessariamente têm que sofrer uma deformação para que possam ser direccionados para os pontos a lubrificar, essa acção de direccionamento torna-se complicada e extremamente morosa.

Coloca-se, ainda, o problema de ajuste da altura de deposição. Da conjugação de dois factores distintos, isto é, o uso de pontas de três capilares e a existência de pontos de lubrificação com diferentes coordenadas no eixo vertical, resulta uma acção de ajuste da altura de cada um dos capilares extremamente difícil, morosa e com falta de rigor (Figura 24).

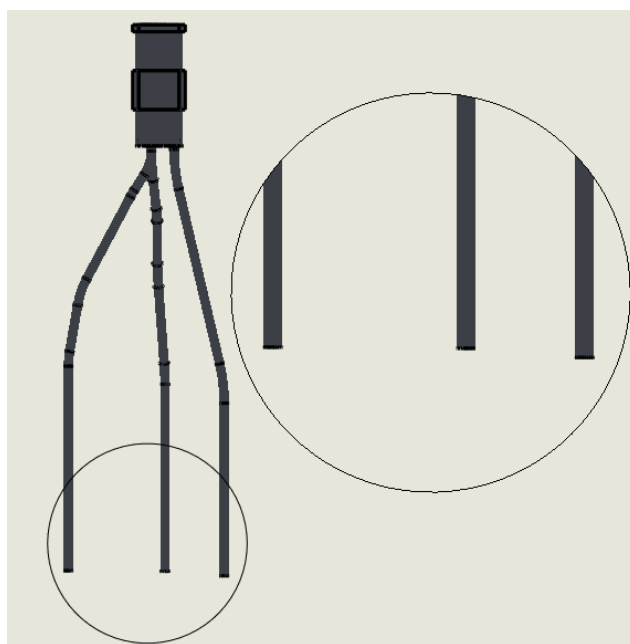


Figura 24-Diferença de Altura Entre Capilares.

A manobrabilidade no espaço existente para a afinação das pontas de distribuição encerra em si outro problema. Este espaço é bastante reduzido, tornando assim as acções de ajuste e aperto das abraçadeiras dos capilares, acções pouco ergonómicas (Figura 25).

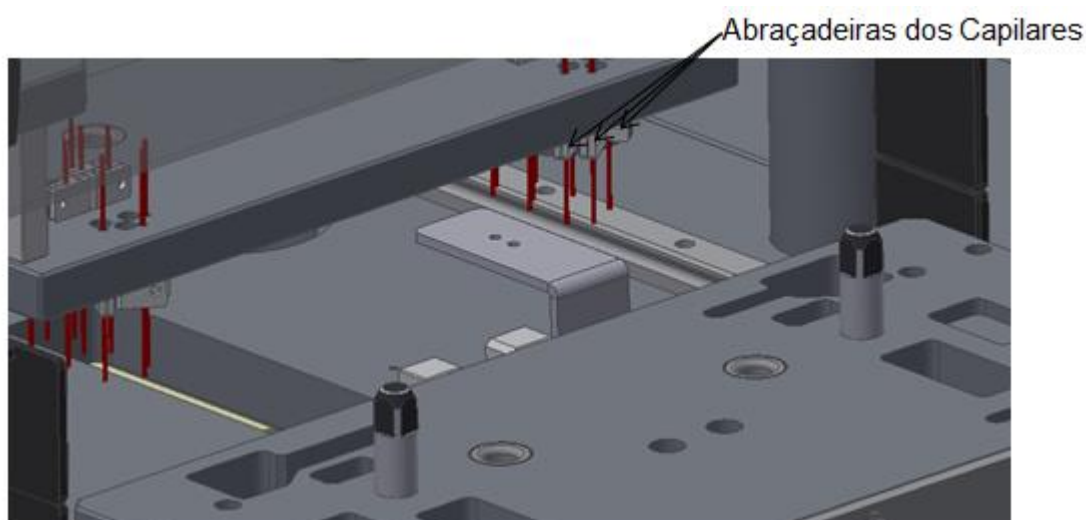


Figura 25-Espaço Para Afinação.

5 Parâmetros de avaliação da deposição

Um dos factores essenciais para que se possa proceder a uma avaliação fiável dos factores de influência de um qualquer processo consiste no estabelecimento de quais as características que se pretendem avaliar e qual a forma mais correta o fazer.

A dificuldade de se proceder a uma avaliação efectiva das deposições efectuadas, de forma célere, é um dos factores que dificultam o controlo do processo e a compreensão dos fenómenos a ele associados. Esta avaliação deveria idealmente ocorrer directamente no equipamento, e sem qualquer intervenção humana sobre o mesmo.

A dificuldade de avaliação, quer da forma, quer da quantidade, prende-se com a variabilidade de uma em relação à outra, isto é, duas gotas com volumes idênticos, podem apresentar geometrias ligeiramente diferentes. Este facto, conjugado com a necessidade de que a medição de forma seja efectuada sem contacto directo entre a gota e o instrumento de medição, tornam a avaliação da deposição bastante complexa.

5.1 Diâmetro de gota

No que toca à forma da deposição, quer fornecedores, quer fabricantes, quer vários autores, estabelecem como característica de avaliação o diâmetro de gota (D_g , ver Figura 26). Este facto verifica-se, por exemplo, aquando da escolha da ponta distribuidora, em que as relações estabelecidas entre o diâmetro nominal de uma dada ponta distribuidora e o diâmetro da gota depositada, estabelecem-se, respectivamente, entre D_g e D_i .

Cada ponta distribuidora apresenta um D_g mínimo e um D_g máximo depositável. Assim, é necessário conhecer-se o D_g que se pretende atingir, para que se possa seleccionar correctamente a ponta distribuidora para a deposição pretendida.

Quando é necessário estabelecer uma relação volumétrica, esta é estabelecida pela aproximação do volume da gota ao volume de meia esfera (ou meio elipsóide), usando-se assim o respectivo diâmetro para o cálculo (Figura 26).

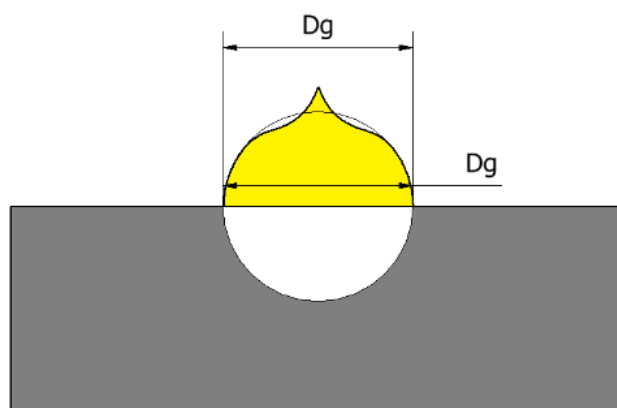


Figura 26-Diâmetro de Gota.

Este método não é, no entanto, universalmente reconhecido, sendo que existem também referências a um cálculo do volume de gota, pela aproximação do volume de gota ao volume de um cone ou de um cilindro.

Estas diferenças entre as formas de cálculo resultam da variedade de formas mais ou menos similares que podem resultar de diferentes deposições (Figura 27)



Figura 27-Diferentes Deposições [16].

Também os sistemas de monitorização automática da deposição existentes no mercado são baseados na avaliação 2D do diâmetro de gota (através de câmaras), sendo ressalvado pelos próprios fabricantes a possível ocorrência de ligeiras variações do volume depositado, isto sem que se verifique qualquer alteração de D_g .

5.2 Volume de gota

Quanto à avaliação da quantidade de material depositado, o volume é um dos parâmetros de avaliação possíveis.

Este parâmetro é, no entanto, de difícil medição, sendo que é mais facilmente mensurável quando o material se encontra suspenso da ponta distribuidora, uma vez que a sua forma é cilíndrica. A partir do momento que o material toca no substrato e é depositado a forma que ele assume permite apenas fazer aproximações e não uma medição exacta.

Apesar de todas as aproximações anteriormente enunciadas serem possíveis, a forma natural de uma gota de massa lubrificante aproxima-se, na maioria das vezes, a uma forma similar à identificada na figura 28 [16].



Figura 28-Gota de Massa Lubrificante [16].

O volume de gota pode ser calculado pela equação:

$$V = 0,3927Dg^2H \quad (\text{Equação 1})$$

No cálculo do volume de gota parte-se também do princípio que a sua altura é igual ao seu diâmetro (Figura 29) ou seja:

$$Dg = H \quad (\text{Equação 2})$$

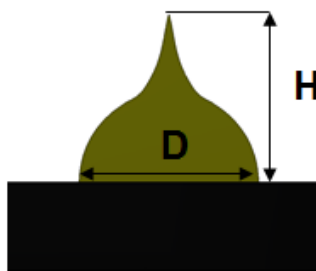


Figura 29-Relação Entre Diâmetro e Altura.

O volume de gota é normalmente expresso em centímetros cúbicos.

5.3 Peso de gota

De um modo prático, a massa ou peso de uma gota ou de um conjunto de gotas é o parâmetro mais fácil de medir e o que quantifica a deposição com maior precisão.

Este parâmetro não se torna, no entanto, muito prático quando é necessário proceder à medição de mais do que uma deposição. Quando isto acontece, como no caso deste estudo, pode recorrer-se à medição do conjunto de deposições e do substrato conjuntamente. Desta forma é necessário subtrair o peso do substrato para que se obtenha o peso total de massa lubrificante depositada. Ainda assim, não é possível, desta forma, garantir que as deposições se encontram uniformes. Mesmo que o seu peso total respeite as especificações, nada nos garante que, individualmente, as deposições se encontrem conformes com o especificado.

6 Factores de influência na deposição

6.1 Ponta distribuidora

A selecção de uma ponta distribuidora é tida como um passo crítico na correta definição de um processo de deposição.

As considerações relativas às pontas de distribuição são feitas com base numa análise das indicações fornecidas por diversos fabricantes, pelo que da convergência dessas indicações podem tirar-se algumas conclusões teóricas.

6.1.1 Diâmetro Interno

O diâmetro interno é apontado como sendo o principal factor, definidor da adequação, ou não, da ponta distribuidora à deposição pretendida. O uso de um diâmetro interno demasiado pequeno pode levar a que a contrapressão exercida seja demasiada, o que pode resultar num entupimento. Já o uso de uma ponta com um diâmetro interno demasiado elevado, pode resultar numa elevada variação do diâmetro de gota, ou seja, pode diminuir a repetibilidade da deposição [17].

O fabricante de material e equipamentos de deposição “EFD”, apresenta a seguinte tabela para indicar o diâmetro interno de cada ponta distribuidora e o respectivo diâmetro mínimo que se consegue com cada uma delas [Tabela 3].

Tabela 3-Pontas Distribuidoras EFD.

Gage	EFD Tip Color	Tip ID (mm)	Minimum Dot Diameter (mm)
14	Olive	1,52	2,29
15	Amber	1,37	2,06
16	Grey	1,19	1,80
18	Green	0,84	1,27
20	Pink	0,58	0,89
21	Purple	0,51	0,76
22	Blue	0,41	0,61
23	Orange	0,33	0,51
25	Red	0,25	0,38
27	Clear	0,20	0,30
30	Lavander	0,15	0,23

A escolha de um diâmetro interno adequado é, assim, remetida para a regra segundo a qual não se deve esperar obter um diâmetro de gota que seja inferior a 1,5 vezes o diâmetro interno da ponta de distribuição, ou seja,

$$Dg = 1,5 * Di \quad (\text{Equação 3})$$

Existem também referências a uma outra regra empírica que considera que [17]

$$Dg \geq 1,75 * Di \quad (\text{Equação 4})$$

Sempre que a repetibilidade da deposição não seja um factor primordial, deve optar-se pela maior ponta distribuidora que permita cumprir os requisitos. Desta forma, a resistência ao fluxo de material é minimizada.

Apesar disto, na aplicação de qualquer uma das regras anteriormente referidas deve ser considerado o facto de que, em casos limite, deve ser utilizada a ponta distribuidora imediatamente anterior. Com esta acção evitam-se as volatilidades que poderão resultar da escolha de uma ponta que irá depositar no seu limite mínimo.

6.1.2 Material

Polímero – as pontas distribuidoras totalmente poliméricas são consideradas descartáveis, apresentam um baixo custo monetário. Todavia, a sua consistência e

precisão não é a melhor. Isto ocorre essencialmente devido a dois factores: flexão durante o processo de deposição, e desgaste do material ao longo do seu tempo de utilização.

Este tipo de pontas distribuidoras podem também ser susceptíveis a reacções químicas com o material a depositar, podendo ocorrer uma contaminação do mesmo (Figura 30).



Figura 30-Pontas de Distribuição Poliméricas [18].

Aço Inoxidável – as pontas distribuidoras em aço inoxidável constituem um avanço na resolução de alguns problemas apresentados pelas pontas poliméricas. Contudo, apresentam um custo mais elevado. Em relação às poliméricas, apresentam um menor desgaste, menor flexão durante a deposição, e menor susceptibilidade a reacções químicas com o material [19] (Figura 31).



Figura 31-Pontas de Distribuição em Aço Inoxidável [19].

6.1.3 Forma

Conicidade e cilindridade – a conicidade ou a cilindridade de uma ponta de distribuição são factores que apresentam grande influência no processo de deposição. Uma ponta cónica, uma vez que a área de contacto com o material a depositar é menor, permite menos problemas de entupimento e requer menos pressão exercida no material (permite maior fluxo), todas estas razões fazem com que se consigam obter gotas com um D_g inferior à obtida por pontas cilíndricas [20].

A cilindridade de uma ponta distribuidora pode, apesar de algumas desvantagens, ser necessária em determinadas aplicações, uma vez que permite o acesso a locais inacessíveis para uma ponta cónica [20].

Chanfro – a existência de um chanfro na extremidade de uma ponta de distribuição permite que, aquando da deposição, a área exterior do capilar em contacto com o material seja menor que a área de superfície também em contacto com o material. Assim, conseguem-se obter gotas significativamente menores com o uso de pontas com chanfro. Isto acontece pelo facto de, quando a área exterior do capilar em contacto com o material é superior à área de substrato em contacto com o material, este tende a aderir à ponta de distribuição, aplicando-se também o contrário [21].

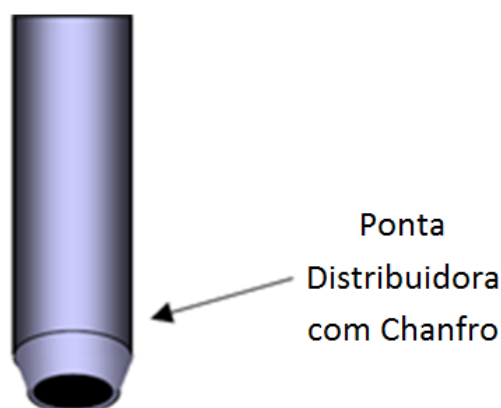


Figura 32-Pontas de Distribuição Com Chanfro [21].

6.2 Altura de deposição

A altura de deposição define-se como sendo a distância entre o topo da ponta distribuidora e a superfície a lubrificar (Figura 33)

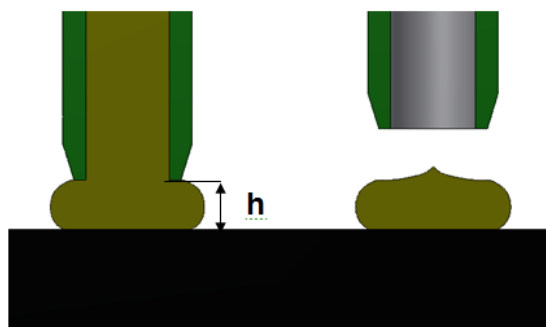


Figura 33-Altura de Deposição.

O processo de separação entre o material e a ponta distribuidora depende do equilíbrio de forças que atuam sobre o material: a força adesiva entre o material e o substrato deve ser maior do que a da força adesiva entre o material e a ponta distribuidora [22].

Se a deposição ocorrer a uma altura demasiado elevada, o material não irá atingir o substrato e será transportado pela ponta distribuidora para a localização do próximo ponto. Aquando da deposição do próximo ponto de lubrificação, a quantidade de material depositada será duplicada. Este processo de ponto sem lubrificação seguido de ponto duplamente lubrificado repete-se consecutivamente [22] (Figura 34).

Este fenómeno alternado entre gota não depositada e gota com volume duplo, define um limite superior de distância à qual a deposição pode ocorrer.

Mesmo que o material entre em contacto com o substrato, ele pode não se separar da ponta de distribuição. A força adesiva entre o material e o substrato é proporcional à área de contacto. No caso de a altura de deposição ser suficientemente baixa, o material é achatado contra o substrato, aumentando a força adesiva entre os dois e sendo então depositado [22].

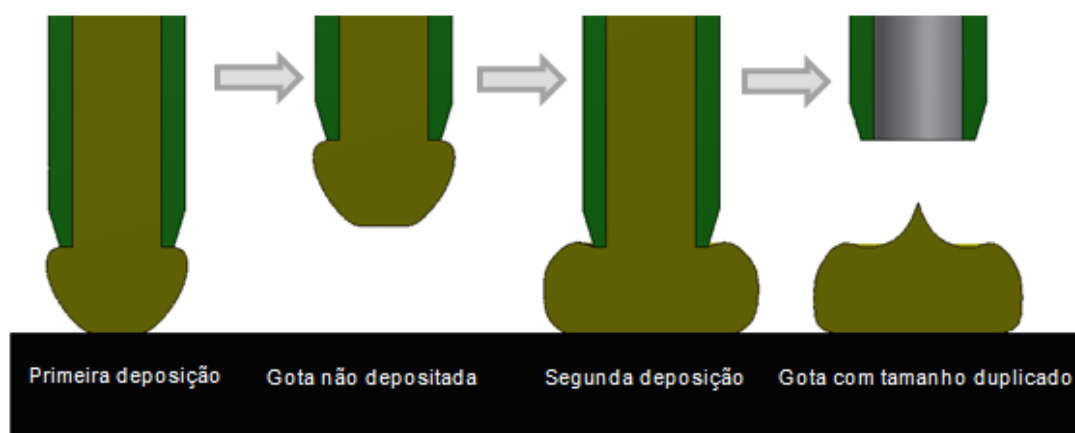


Figura 34-Altura de Deposição Demasiado Elevada.

À medida que a altura de deposição vai sendo cada vez menor, as gotas depositadas vão apresentando um diâmetro superior, ou seja, vão sendo cada vez mais achatadas. Isto acontece apesar de o seu volume e peso, isto é, a quantidade de material depositado serem os mesmos [22].

No entanto, uma altura de deposição demasiado baixa acarreta consigo alguns problemas, tais como a aderência de material à superfície exterior da ponta de distribuição (Figura 35).

Esta aderência conduz ao surgimento de um padrão de deposição inconstante (gota pequena/gota grande) (Figura 35) [22].

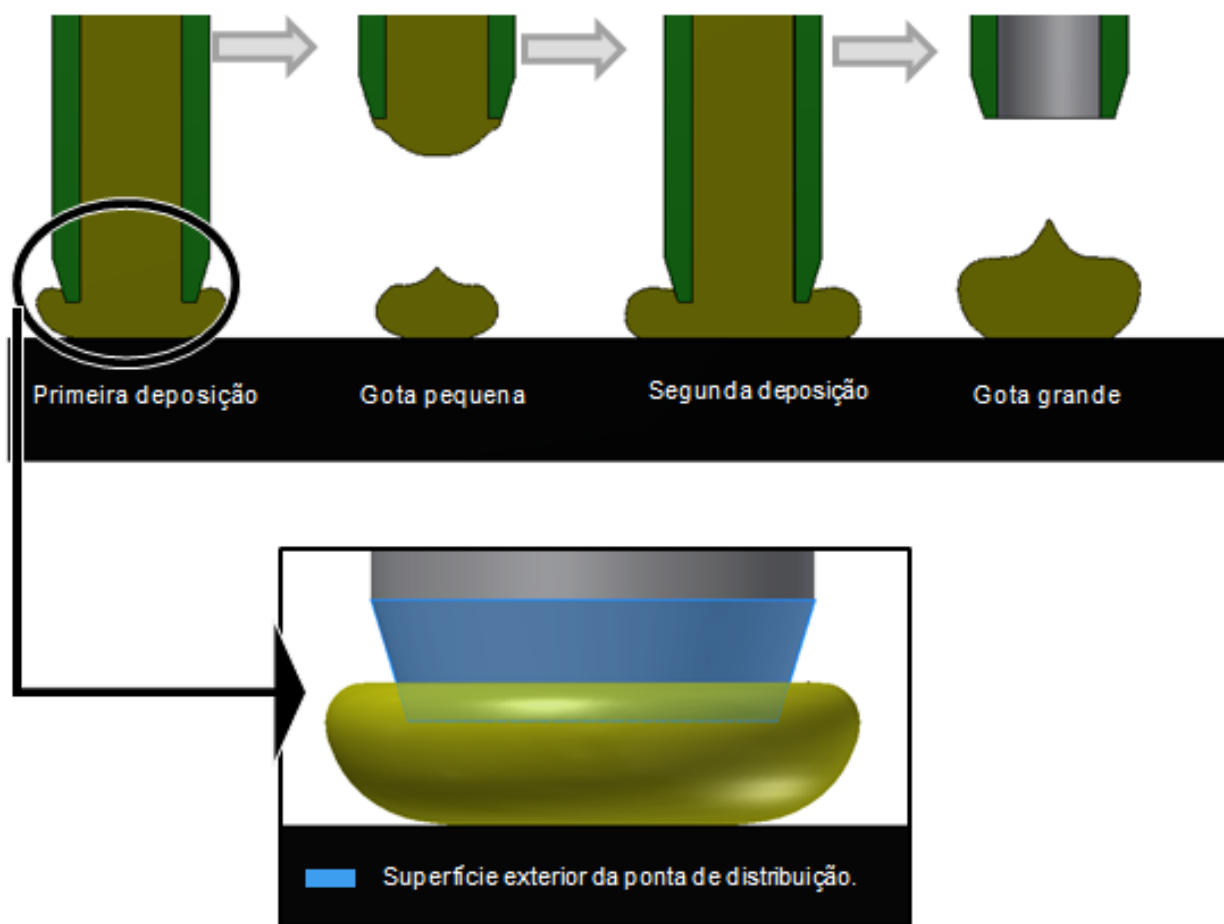


Figura 35-Altura de Deposição Demasiado Baixa.

No caso da ponta distribuidora entrar em contacto com a superfície, o material não consegue ser expelido, não ocorrendo qualquer deposição.

Os volumes de diversas formas geométricas normalmente atribuídas às gotas depositadas são os seguintes [2]:

Cone: $V = \frac{1}{3} \pi R^2 H$ (Equação 5)

Semiesfera: $V = \frac{2}{3} \pi R^2 H$ (onde $H=R$) (Equação 6)

Cilindro: $V = \pi R^2 H$; (Equação 7)

Comparando estes volumes chega-se à conclusão que uma redução por um factor de dois da cota linear da gota depositada, obriga a uma redução do volume depositado

por um factor de oito. Percebe-se, assim, a dificuldade de deposição de pequenos volumes de forma consistente, bem como da importância que a altura de deposição tem na formação da gota e no processo de deposição.

Para a determinação da altura ideal de deposição, não se inclui a forma geométrica que é a mais próxima da verdadeira forma da gota após a sua formação. Isto acontece uma vez que esta forma é formada após a deposição, e por afastamento da ponta de distribuição, ou seja, quando a ponta de distribuição ainda não recuou, a forma da gota aproxima-se com maior rigor a uma semiesfera [22] (Figura 36).



Figura 36-Formação de Gota.

Uma das formas de estabelecer uma abordagem inicial à altura de deposição é pelo cálculo do comprimento do material que será extrudido pela ponta de distribuição em cada deposição (Figura 37) [22]. Usando este comprimento e o diâmetro interno da ponta de distribuição, pode calcular-se o volume da deposição como o volume de um cilindro.

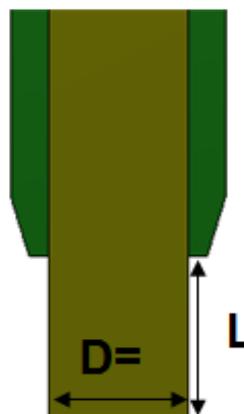


Figura 37-Abordagem Inicial à Altura de Deposição.

Exemplo:

Usando uma ponta distribuidora com $D_i = 0,84 \text{ mm}$ e obtendo-se um comprimento do material $L = 3 \text{ mm}$, seria obtido um cilindro com $V_c = 1,66 \text{ mm}^3$.

Calculando agora o raio de meia esfera com o mesmo volume obteríamos $R = 0,93 \text{ mm}$. Assim, aproximando a forma da gota a uma meia esfera, a altura de deposição ideal seria $h = 0,93 \text{ mm}$.

6.3 Tempo de deposição e pressão no material

O tempo de deposição, bem como a pressão aplicada no material são dois factores que estão interligados, sendo que geralmente podem ser controlados pelo mesmo dispositivo.

Estes factores são os principais responsáveis pela definição da quantidade de material depositado, existindo uma variação linear dessa quantidade, quer em relação ao tempo, quer em relação à pressão exercida no material (Figura 38).

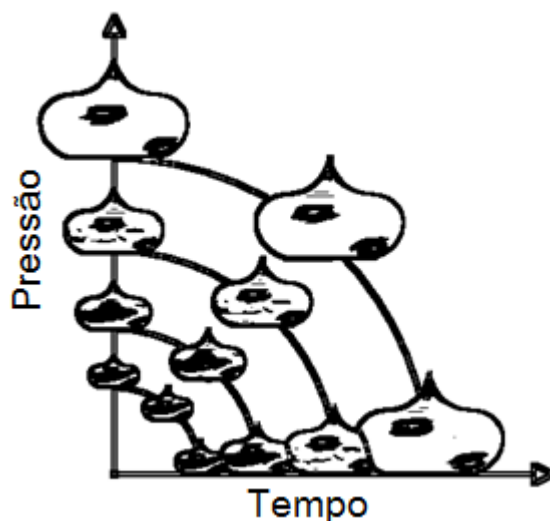


Figura 38-Variação Tempo/Pressão.

Na deposição de massa lubrificante, dependendo do sistema de deposição utilizado, a pressão no lubrificante e tempo de deposição podem, no entanto, ter implicações diferentes.

Usando como exemplo uma válvula com parafuso de alimentação, a influência na deposição da pressão exercida no material é bastante inferior à influência desta quando a deposição ocorre com recurso a uma válvula temporizada ou a um sistema *TPD*. Isto dá-se devido ao facto do movimento de transporte da massa para a superfície ser imposto pela rotação do parafuso de Arquimedes, e não pela pressão exercida no material.

7 Avaliação de melhorias ao equipamento

7.1 Sistema de bombeamento

O sistema de bombeamento é um dos aspectos mais problemáticos no equipamento actual. Este facto resulta essencialmente do seu princípio de funcionamento bem como da sua posição no equipamento (Figura 39).

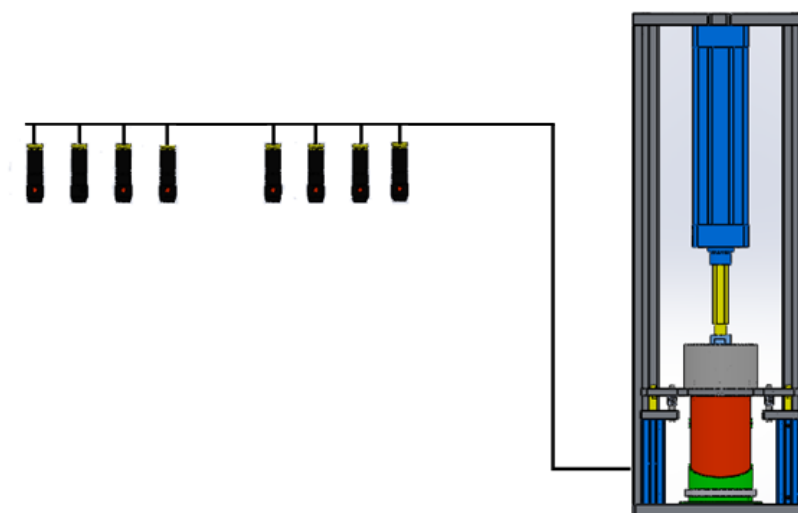


Figura 39-Descentralização do Sistema de Bombeamento.

Segundo o princípio de funcionamento inicialmente concebido, a massa lubrificante seria transferida para as válvulas de distribuição pela acção de um êmbolo sobre o volume de massa lubrificante presente na lata.

Este princípio, conjugado com o facto de todo o sistema se encontrar a uma distância elevada dos pontos de lubrificação, e de se encontrar completamente descentralizado, resulta numa grande dificuldade de bombeamento e na necessidade de uma pressão demasiado elevada a ser exercida sobre o material, resultando, devido ao atrito entre a massa lubrificante e as paredes das tubagens, num bombeamento ineficaz e numa separação de fases do material.

Também as inclusões de ar no sistema de bombeamento são um problema. Ao existirem infiltrações de ar na massa lubrificante, todo o processo de lubrificação é

comprometido, uma vez que, mesmo que o bombeamento se efectue com eficácia, o resultado da deposição não será satisfatório pois será expelido pelas válvulas distribuidoras um dado volume de ar em lugar de massa lubrificante.

No entanto, interessa perceber o porquê desta dificuldade em bombear a massa até aos pontos de deposição.

7.1.1 Comportamento da massa no bombeamento

Quando comparada com o óleo, a massa lubrificante apresenta uma reologia bastante complexa, o que torna mais difícil entender o seu fluxo.

Os fluidos são classificados segundo a relação entre a tensão de corte a que está sujeito e a taxa de corte, ou velocidade de deformação gerada (Figura 40) [23].

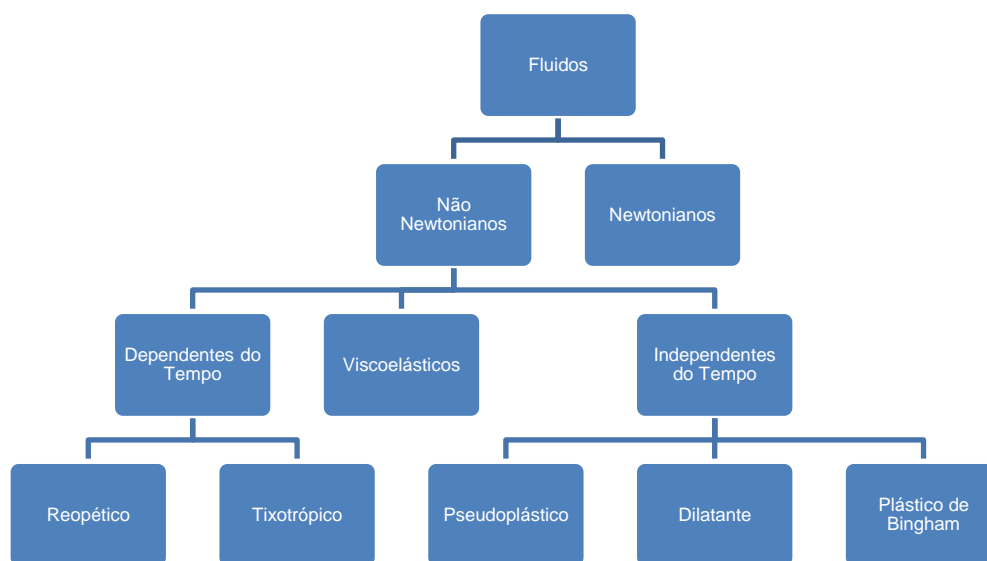


Figura 40-Classificação dos Fluidos [23].

7.1.1.1 Massa Lubrificante Como Fluido Pseudo-plástico.

7.1.1.1.1 Viscosidade e Taxa de Corte

Sendo classificada como um fluido pseudo-plástico não Newtoniano, a sua viscosidade diminui com o aumento da velocidade de corte. Isto significa que a

viscosidade da massa lubrificante se reduz com o aumento da taxa de corte (Figura 41) [23].

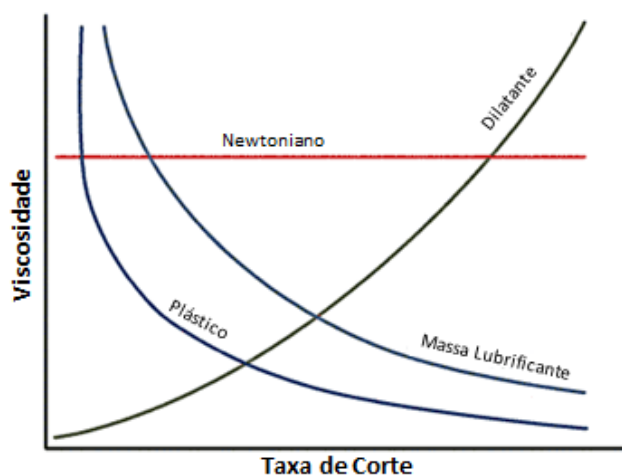


Figura 41-Variação da Viscosidade com a Taxa de Corte [23].

A Taxa de Corte representa o deslocamento relativo das partículas ou moléculas do material (Figura 42).

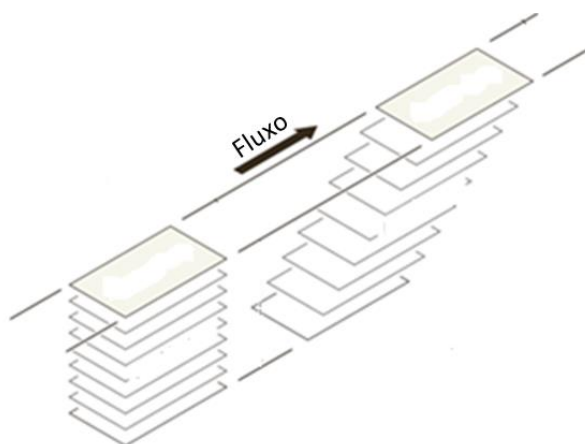


Figura 42 - Taxa de Corte [24].

A taxa média de corte num tubo é a velocidade média dividida pelo raio do tubo [25]:

$$\gamma = \frac{v_{med}}{r_t} \quad \text{(Equação 8)}$$

A viscosidade da massa lubrificante é referida como viscosidade aparente, ou seja, é a viscosidade apresentada apenas para uma dada taxa de corte a uma dada temperatura. Caracteriza-se, assim, o seu comportamento reológico na curva tensão de corte/taxa de corte, sendo necessário determinar vários pontos dessa curva, ao contrário dos fluidos Newtonianos em que um único ponto é suficiente.

7.1.1.1.2 Temperatura e viscosidade

A influência da temperatura na viscosidade aparente da massa lubrificante é a mesma que se pode esperar para outros fluídos, isto é, a viscosidade aparente diminui com o aumento da temperatura. Este comportamento, esperado, aplica-se somente a temperaturas baixas. A temperaturas mais elevadas encontra-se um mínimo atingido, ou seja, um patamar a partir do qual não se verificam alterações na viscosidade aparente com o aumento da temperatura (Figura 43) [26].

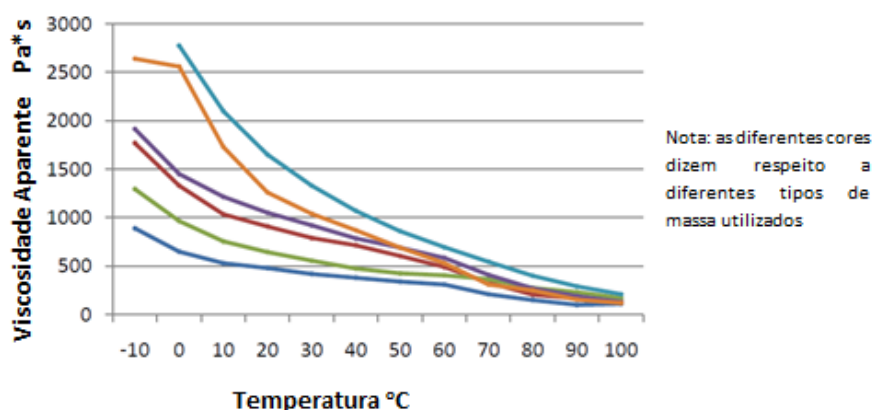


Figura 43-Evolução da Viscosidade Aparente Com a Temperatura [26].

7.1.1.1.3 Tensão de corte

Para que um fluido escoe é necessário que lhe seja aplicado um esforço que o obrigue a tal. Assim, a tensão de corte é a força por unidade de área de corte necessária para manter o escoamento do fluido [25]:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (\text{Equação 9})$$

7.1.1.1.4 Ponto de Fluxo

Este comportamento da massa lubrificante introduz logo à partida um grave problema no que respeita ao desenvolvimento de um sistema de bombeamento. O problema reside no facto de a quantidade de energia necessária para forçar o lubrificante a iniciar o seu fluxo ser muito maior do que a energia necessária para mantê-lo em movimento, com um fluxo contínuo. Assim, nos primeiros instantes de fornecimento de uma nova porção da massa lubrificante para a conduta principal do sistema de lubrificação, o sistema de bombeamento deve, em primeiro lugar, vencer a resistência ao fluxo gerada pela própria massa lubrificante, ou seja, deve atingir o seu ponto de fluxo [26].

O ponto de fluxo representa o limite a partir do qual são rompidas suficientes ligações entre a microestrutura da massa lubrificante, para que ocorra o seu movimento, ou seja, ele representa o ponto para o qual o módulo de armazenamento é igual ao módulo de perda. O módulo de armazenamento mede a energia armazenada e representa a elasticidade do material; por outro lado, o módulo de perda mede a energia dissipada na forma de calor, derivando da viscosidade [26]. Todas as massas lubrificantes têm módulo de armazenamento acima do módulo de perda. Porém, à medida que esta é sujeita a uma força crescente esta ordem é invertida, passando a massa a apresentar um comportamento “líquido” (Figura 44).

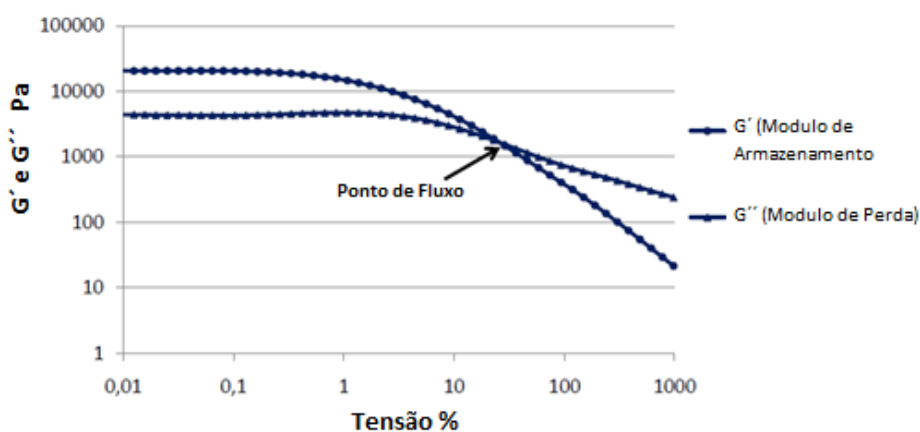


Figura 44-Evolução dos Módulos de Perda e Armazenamento [26].

7.1.1.1.5 **Perdas de Carga**

O fluxo de massa não é determinado apenas pelas suas propriedades reológicas, mas também pelo material, rugosidade e configuração dos elementos que a transportam, neste caso em particular, as tubagens do sistema de bombeamento.

Quando um fluido escoar de um ponto para outro no interior de um tubo, existe sempre perda de energia ou perda de carga. Esta perda deve-se ao atrito do fluido com a parede do tubo e também à maior ou menor turbulência no escoamento do fluido. Assim, quanto maior a rugosidade da tubagem ou maior a viscosidade do material, maior será a perda de carga (Figura 45).

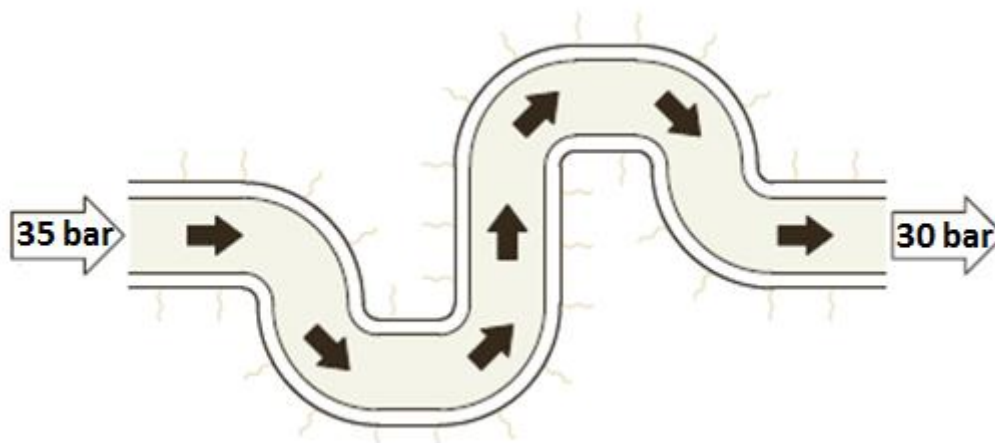


Figura 45-Queda de Pressão na Tubagem [24].

A perda de carga total do escoamento é determinada através do factor de atrito e dos coeficientes de perda localizada.

Os dados experimentais da perda de carga em escoamentos de fluidos não-Newtonianos são limitados quando comparando com os fluídos Newtonianos e por este facto existem divergências entre autores sobre quais os critérios a utilizar para o uso das correlações de factor de atrito e coeficientes de perda localizada.

Um factor importante na redução da resistência ao fluxo nos sistemas de lubrificação é o aparecimento, na região do contacto da massa lubrificante com a parede da conduta, da chamada camada limite [28], que é uma camada que surge ao

longo da superfície onde são significativas as forças de atrito que esta exerce sobre o fluido, travando-o.

A força de atrito propaga-se para o interior do escoamento como resultado da viscosidade, diminuindo de intensidade à medida que se vai afastamento da superfície. Fora da camada limite as forças de atrito são praticamente nulas [29].

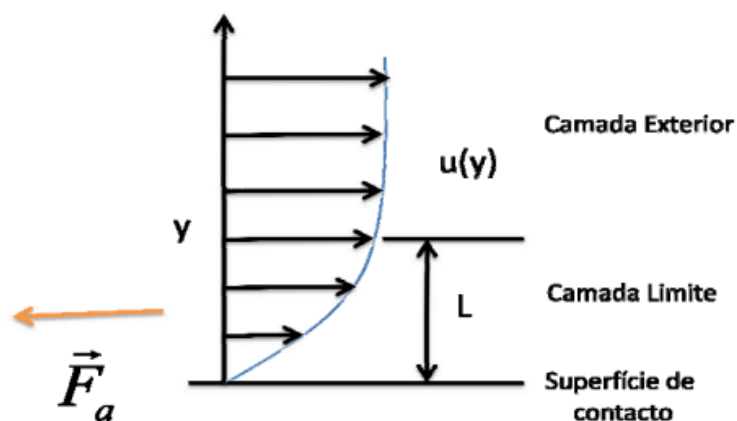


Figura 46-Camada Limite [29].

No caso em que a rugosidade da superfície interna da conduta é superior ou igual à espessura da camada limite a resistência ao fluxo aumenta consideravelmente. Ao projectar-se os sistemas de lubrificação, é então fundamental prestar-se atenção à rugosidade da superfície da conduta de lubrificação, mantendo-a tão baixa quanto possível [28].

Quando a massa é bombeada através de uma tubagem num sistema de lubrificação centralizada, como é o caso, ela pode encontrar uma grande resistência ao fluxo e pode formar uma barreira. À medida que o sistema continua a tentar bombear a massa lubrificante o óleo continua a fluir, migrando para fora do seu espessante e diminuindo cada vez mais a capacidade de escoamento da massa [30], o que pode resultar no “entupimento” da tubagem.

7.1.2 Avaliação de Melhorias

O sistema de bombeamento comporta em si mesmo diversos problemas de concepção, que conjuntamente com o comportamento complexo da massa lubrificante durante o escoamento, conduzem à uma ineficácia do sistema.

Em função de uma análise teórica, quer aos erros de concepção, quer ao comportamento da massa lubrificante, podem ser apontados diversos problemas e sugeridas possíveis soluções.

7.1.2.1 Bombeamento ineficaz

O bombeamento ineficaz do sistema parece dever-se a diversos factores: descentralização do sistema em relação aos pontos de lubrificação, comprimento excessivo das tubagens, diâmetro interno das tubagens demasiado pequeno e excessivo número de conexões.

Para que estes problemas sejam solucionados apresentam-se essencialmente duas hipóteses: ou se mantém o sistema de bombeamento centralizado e se procede às alterações no sistema ou, como alternativa, pode alterar-se o sistema de bombeamento para um sistema unitário, ou seja, um sistema de bombeamento para cada uma das válvulas distribuidoras.

Separação de fases

O fenómeno separação do óleo que se verifica no equipamento poderá ser resultado, em grande parte, do facto do sistema de bombeamento estar a exercer uma pressão elevada devido à alta resistência encontrada no escoamento. Adicionalmente, constata-se ainda que os níveis elevados de pressão são mantidos ao longo do tempo, ou seja, sem períodos de alívio da massa lubrificante. Caso esses períodos de alívio existissem, poderia dar-se ainda a hipótese de o óleo voltar a ser absorvido pelo espessante, o que não é o caso.

Como referido anteriormente, a massa lubrificante quando sujeita a uma elevada resistência em escoar pode formar uma barreira, e estando sujeita a uma pressão elevada e constante o óleo continuará a fluir separando-se da massa lubrificante, comportamento este comum em materiais de natureza bifásica. Este facto, juntamente com a existência de conexões não totalmente estanques, faz com que, para além de se separar da massa, o óleo se escape para fora da tubagem.

Para que o fenómeno de separação de fases não ocorra, para além das alterações referidas para o fenómeno do bombeamento ineficaz, deveria também ser alterado o princípio de funcionamento do próprio sistema.

Assim, para que a separação de fases deixe de se verificar põem-se duas hipóteses: ou é mantido um sistema centralizado e é alterado o seu princípio de funcionamento para que não seja exercida uma pressão tão elevada, de modo a que esta não seja exercida de forma constante no tempo, ou, por outro lado e mais uma vez, serem utilizados sistemas independentes, o que permitiria, como anteriormente referido, aproximar o sistema da válvula distribuidora que este alimenta, reduzindo a resistência ao escoamento e permitindo que pressões mais reduzidas sejam aplicadas.

Inclusão de ar

A inclusão de bolhas de ar no sistema deve-se essencialmente à forma como o êmbolo responsável por “empurrar” a massa lubrificante para o sistema se aproxima desta. À medida que esta aproximação se dá, o ar presente no recipiente fica à superfície, ou seja, entre a massa lubrificante e o próprio êmbolo (Figura 47).

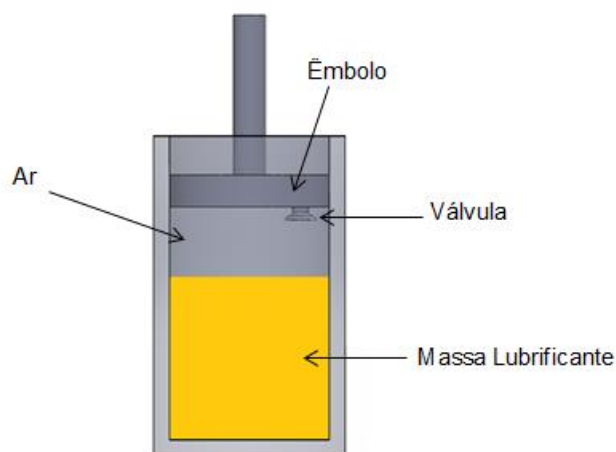


Figura 47-Aproximação do Êmbolo.

Apesar do êmbolo conter uma válvula cujo objectivo é o de permitir a saída do ar, ou seja, a válvula só recua quando toca na massa lubrificante, ela não é suficiente para que todo o ar seja escoado.

Uma das formas possíveis para induzir um maior escoamento do ar para o exterior da lata de massa lubrificante poderá consistir na utilização de uma bomba de vácuo que permita, numa posição intermédia, isto é, com o êmbolo já inserido na lata mas ainda sem tocar nesta, retirar o ar remanescente no sistema.

Outra forma que poderá ou não funcionar em conjunto com a anterior, consiste na alteração do sistema actual, isto é, utilizando um êmbolo de forma cónica pretende-se que à medida que o êmbolo entra em contacto com a massa lubrificante, o ar remanescente na interface vá sendo direccionado para a extremidade do êmbolo onde se encontram as válvulas. Apenas no momento em que toda a superfície cónica do êmbolo entra em contacto com a massa lubrificante é que as válvulas entram também em contacto com a mesma. Nesta altura, teoricamente, todo o ar terá sido expulso (Figura 48).

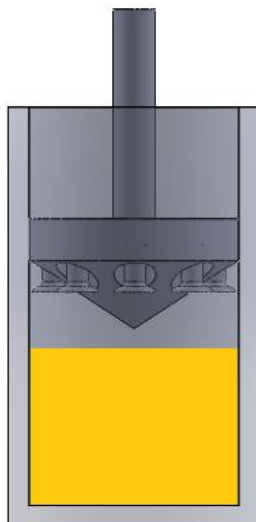


Figura 48-Sistema com êmbolo cônico.

Existe também no mercado um sistema de expulsão de massa lubrificante contaminada com ar desenvolvido pela empresa GP REEVES. Este sistema é designado pela empresa como AAPG ou seja “Advanced Air Purge Grease Dispensers” [16].

Neste sistema, antes de ser depositado, ou seja, antes de ser enviado para a válvula de distribuição, o material passa por um processo de controlo, controlo este que é executado por um PLC. Neste teste, caso a massa lubrificante não passe no teste, o sistema é purgado.

O processo de controlo consiste em fazer passar a massa lubrificante por uma câmara sendo neste momento permitida a sua despressurização. Estando a câmara cheia, ambas as válvulas do sistema (válvula de purga e válvula de passagem) se encontram fechadas e é aplicada uma força descendente pela acção de um êmbolo. Um determinado movimento do êmbolo indica que a massa presente na câmara está livre de ar uma vez que é incompressível. Neste caso é aberta a válvula de passagem e a massa segue o seu curso até à válvula de distribuição. No caso em que o movimento do êmbolo apresenta uma dada amplitude conclui-se que a massa

lubrificante apresenta bolhas de ar, uma vez que apresenta compressibilidade. Neste caso é aberta a válvula de purga e a massa lubrificante é purgada (Figura 49).

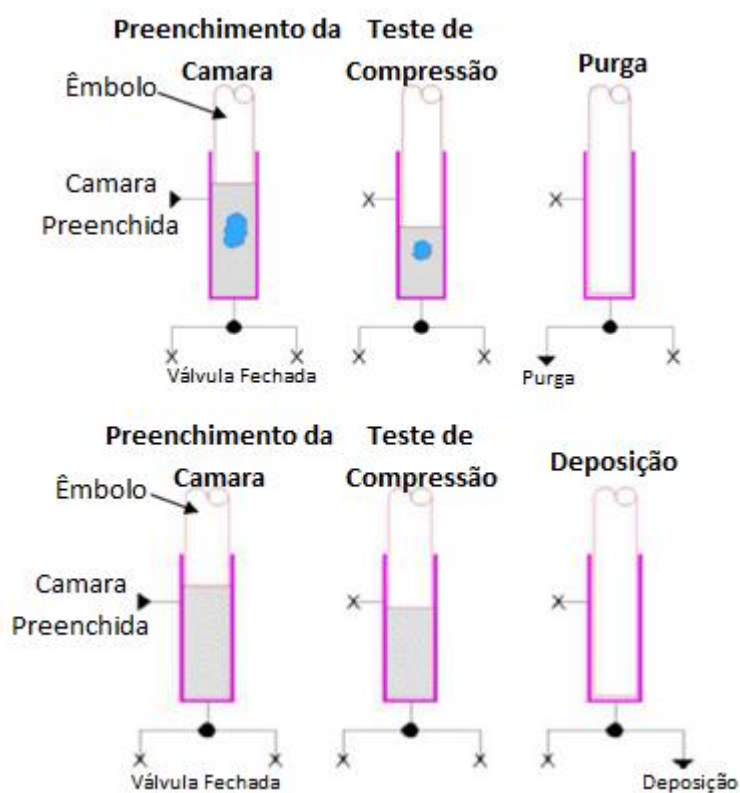


Figura 49-Sistema AAPG [16].

Este sistema não evita a inclusão de ar na massa lubrificante mas, por outro lado, evita de forma eficaz que essa inclusão afecte a deposição, isto é, apesar de o ar poder infiltrar-se no material, as deposições efectuadas por um equipamento que inclua o sistema AAPG estarão sempre livres de ar.

7.1.3 Sugestão de solução

A forma mais simples e eficaz de contornar os problemas de um sistema centralizado de bombeamento consiste no uso de um sistema unitário, que é simplesmente constituído por uma seringa acoplada à própria válvula (Figura 50).



Figura 50-Sistema de bombeamento unitário [31].

Este sistema funciona pelo mesmo princípio do sistema actual. A pressão exercida na massa lubrificante continua a ser exercida de forma constante pela acção de um êmbolo. No entanto a pressão que é necessário exercer para que o material alimente a válvula distribuidora é reduzida drasticamente (≤ 2 bar).

A pressão de alimentação apresenta valores bastante mais baixos, essencialmente devido à redução do percurso percorrido pelo material até atingir a válvula distribuidora, reduzindo-se assim os efeitos da reologia complexa da massa lubrificante.

No entanto, este tipo de sistema apresenta uma grande desvantagem, que reside no facto de necessitar de intervenções periódicas para o reabastecimento da seringa, uma vez que o seu volume de 30cc é reduzido para as necessidades apresentadas.

O sistema foi testado e encontra-se hoje em dia em execução num outro equipamento de lubrificação presente na FEHST, sendo que os seus resultados revelaram-se satisfatórios.

Anteriormente, a necessidade de intervenções no equipamento, resultantes de problemas ao nível do sistema de bombeamento era, em média, de 5 intervenções por

semana, sendo que cada intervenção tinha uma duração média de 30 minutos. Actualmente as necessidades de intervenção respeitantes ao sistema de bombeamento reduzem-se à necessidade de reabastecimento da seringa, sendo que o número médio das intervenções é de 2 intervenções por semana. Também a duração das intervenções se reduziu para apenas 10 minutos por intervenção.

Os dados disponíveis dizem respeito aos tempos de paragem e não produção. Porém, se tivermos em consideração o tempo de ciclo da máquina (15 segundos) e admitindo uma produção contínua durante os tempos que seriam de paragem, podemos fazer uma aproximação aos ganhos de produção que se conseguiram com a alteração e que são de cerca de 520 unidades por semana.

Também no que diz respeito às inclusões de ar, a melhoria foi significativa. Deixando de se verificar qualquer inclusão de ar, as grandes vantagens obtidas residem em três pontos, sendo que o primeiro diz respeito ao que foi referido no parágrafo anterior relativamente aos tempos de paragem. Já o segundo ponto, respeita ao menor desperdício de massa lubrificante, isto é, tendo em conta que com a utilização do sistema centralizado de bombeamento era necessário purgar o sistema (devido às inclusões de ar), o desperdício de massa lubrificante compreendia-se entre 30% e 40% do volume do recipiente, sendo que neste momento esse desperdício é inexistente. O terceiro ponto refere-se à não ocorrência de “não deposições”, ou seja a alteração do sistema permitiu garantir que os pontos de lubrificação são todos preenchidos em todos os ciclos, sendo que uma vez mais este facto resulta da não ocorrência de inclusões de ar.

7.2 Válvula reguladora de pressão

Um dos problemas do equipamento actual reside na impossibilidade de obtenção de um qualquer tipo de leitura, ou de controlo sobre a pressão de entrada da massa

lubrificante. Desta forma não é conhecida a pressão à qual se encontra a massa lubrificante quando dá entrada nas válvulas de distribuição.

Este facto resulta numa falta de controlo sobre a pressão óptima de entrada do material na válvula de distribuição, sendo que com o uso de uma válvula temporizadora este ponto é fulcral uma vez que a quantidade de material que é depositado depende directamente da pressão do material.

7.2.1 Proposta de solução

O uso de um regulador de pressão no seguimento do sistema de bombeamento tem o objectivo de reduzir a pressão de alimentação do material para a pressão de operação requerida, permitindo operar a válvula de deposição na sua pressão de material óptima e compensando possíveis variações resultantes do processo de alimentação, como sejam perdas de carga na tubagem. O uso de um regulador de pressão à entrada de uma válvula temporizadora permitiria manter uma pressão constante, o que, conjuntamente com a constância do tempo de deposição, permitiria uma regulação destes parâmetros que garantisse uma quantidade constante de material debitado pela válvula.

Este controlo pela regulação da pressão do material no uso de válvulas temporizadoras poderia permitir também minimizar os efeitos que o nível de material presente na seringa apresenta, isto caso um sistema e bombeamento unitário seja utilizado.

No caso do uso de uma válvula com parafuso de Arquimedes, o regulador de pressão permite garantir que não é exercida uma pressão demasiado elevada, da qual resulte uma contra pressão que iniba a rotação do parafuso e consequente deposição de material.

Uma boa hipótese para uso em futuros equipamentos provém da empresa GP REEVES que apresenta um regulador de pressão com êmbolo de referência

GPR4100C, desenvolvido especificamente para o uso com massa lubrificante (Figura 51).



Figura 51-Regulador de Pressão GP REEVES [16].

Com o regulador de pressão pode também ser instalada uma válvula de corte de fluxo de referência 1840 e um filtro de referência GF1149-4 que também pode servir de conector entre os dois (Figura 52).



Figura 52-Válvula de Corte/Filtro/Regulador de Pressão [16].

O uso de um filtro para a massa lubrificante é um ponto que deve ser considerado de grande importância, uma vez que, até ser depositada, esta passa por diversos processos onde pode ser contaminada por impurezas. Essas impurezas podem resultar do armazenamento, das transferências de material ou mesmo do percurso que a própria massa possa efectuar no sistema de bombeamento. O uso de um filtro permite minimizar a possibilidade de essas impurezas serem depositadas no produto a lubrificar, minimizando também as hipóteses de danos nas válvulas de distribuição.

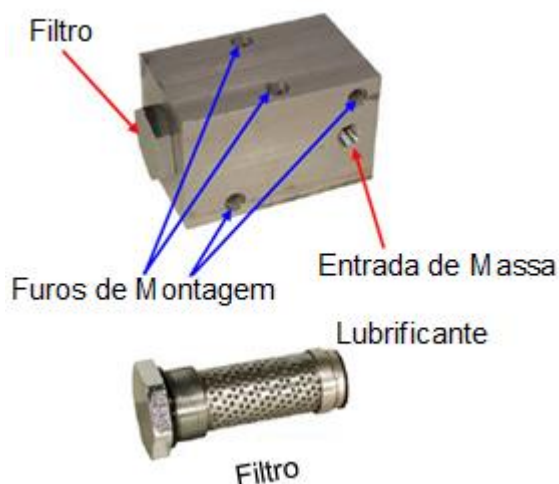


Figura 53-Filtro de Massa Lubrificante [16].

7.3 Válvula de distribuição

Como referido anteriormente as válvulas distribuidoras utilizadas no equipamento são válvulas do tipo temporizadoras. O problema relacionado com o uso deste tipo de válvulas reside no facto de estarem dependentes do comportamento do fluido, ou seja, são a pressão exercida no fluido conjuntamente com o tempo de abertura da válvula e com o grau de abertura da mesma os factores que determinam o volume de material depositado. Uma vez que no equipamento actual são utilizadas oito válvulas, o número total de parâmetros a controlar torna-se bastante problemático. Para além disso, sendo o comportamento da massa lubrificante de difícil previsão, entre outros dada a sua dependência da temperatura, pressão e humidade relativa, tornar o volume de material dependente desse comportamento não é aconselhável.

7.3.1 Proposta de solução

A redução da dependência sobre o comportamento da massa lubrificante, do nível de abertura e do tempo de deposição, pode ser conseguida pelo uso de uma válvula de deslocamento positivo.

As válvulas de deslocamento positivo são independentes do comportamento e pressão do material. Dentro deste tipo de válvulas encontram-se as válvulas de deslocamento por êmbolo e as válvulas de com parafuso de Arquimedes, sendo que qualquer uma delas é adequada para a deposição de massa lubrificante.

Este tipo de válvulas, como foi referido em capítulos anteriores, funcionam de uma de duas formas: ou pelo deslocamento de um êmbolo, ou pela rotação de um parafuso de Arquimedes. Assim, o material que chega até à entrada da válvula é transportado para a sua saída por acção mecânica de um destes elementos. Desta forma, os únicos factores a controlar poderão ser, ou a rotação do parafuso, ou deslocamento do êmbolo. Para que se aumente ou diminua o volume depositado, basta assim aumentar o número de rotações, isto no caso de se tratar de um parafuso de Arquimedes. No caso de se tratar de uma válvula com êmbolo, basta alterar o seu curso.

7.4 Sensor de caudal

Uma das grandes dificuldades do controlo do processo de lubrificação com massa lubrificante incide sobre o controlo da quantidade de material depositado.

No equipamento actual não existe nenhum dispositivo que permita, com ou sem rigor, obter uma leitura da quantidade de material efectivamente depositado, sendo que esta quantidade pode apenas ser avaliada visualmente.

7.4.1 Proposta de solução

O objectivo da colocação de um sensor de caudal à saída da válvula de distribuição é precisamente o de executar uma leitura de caudal que permita aferir da quantidade de material que está efectivamente a ser debitado. Esta leitura permitirá, assim, um ajuste fino dos parâmetros de influência do processo, permitindo também evitar que sejam executadas deposições que não se encontrem em conformidade com as especificações.

A melhor das hipóteses encontradas no mercado pertence mais uma vez à empresa GP REEVES, que fornece um sensor electrónico de caudal de referência FS4009 e que é mais uma vez desenvolvido para o uso com massa lubrificante.



Figura 54-Sensor Electrónico de Caudal [16].

Com o uso deste sensor torna-se também possível efectuar uma leitura e armazenamento dos dados fornecidos, o que poderá ser bastante interessante para que a empresa possa adquirir um maior conhecimento prático acerca do processo, e que possa também efectuar um controlo automático do volume depositado. Por exemplo, no uso de uma válvula com parafuso de Arquimedes, esta poderia ser programada para responder aos dados fornecidos pelo sensor, ajustando a sua rotação para o volume pretendido.

7.5 Sistema de visão integrada

Um dos pontos pretendidos pela empresa consistia na implementação de um sistema de visão integrado que permitisse avaliar a deposição efectuada, sendo o objectivo desta implementação o de eliminar a influência humana desta fase do processo.

7.5.1 Proposta de solução

Nesta inspecção automática apresentam-se duas grandes opções a tomar. Ou é utilizado um sistema que permita uma avaliação quantitativa ou, por outro, ser utilizado um sistema de avaliação qualitativa.

Num sistema de avaliação quantitativa, toda a avaliação da deposição é efectuada pelo sistema de visão integrada, o que tornaria redundante a utilização de um sensor de caudal. Por outro lado a avaliação que é feita por este tipo de sistemas baseia-se na avaliação 2D das gotas depositadas, quer seja por medição do diâmetro de gota ou pela medição do diâmetro de gota e da altura, este tipo de sistemas, tendo em conta a variação da forma das gotas depositadas, corre sempre o risco de avaliações erradas das gotas. Ou seja, as deposições podem sempre apresentar uma forma que não permita a estes sistemas uma avaliação conforme, isto apesar de o volume de gota depositado estar correcto. Todas as aplicações conhecidas em que este tipo de sistema é aplicado correspondem a medição de deposições em fio (Figura 12), sendo que a sua forma é bastante mais previsível e regular, logo bastante mais fácil de avaliar.

Assim, a proposta de solução para um sistema de visão integrada consiste num sistema de avaliação qualitativa, ou seja, o sistema apenas fornece informação sobre se a deposição foi ou não efectuada. No entanto, a utilização de um sistema deste género em conjunto com um sensor de caudal, permitiria uma avaliação completa, isto é, o sensor efectua uma avaliação da quantidade despendida pela válvula e o sistema de visão avalia se essa quantidade foi ou não depositada e aderiu ao produto a depositar.

A implementação deste tipo de sistema pode ser garantida pela instalação, por exemplo das camaras de inspecção por comparação da empresa IFM de referência O2V121 (Figura 55), sendo aconselhável, neste caso, a instalação de luz negra no equipamento por razões de contraste, ou seja, para que uma melhor leitura seja efectuada pelas câmaras [32].

A utilização de um sistema de visão integrada permitiria a elaboração de rotinas de compensação, ou seja, caso fossem detectados pelas câmaras pontos não

depositados, estes poderiam ser compensados. Garantir-se-ia assim que todos os pontos a serem lubrificados, efectivamente o eram.

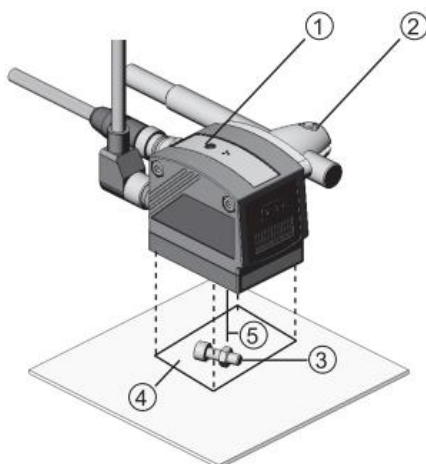


Figura 55-Câmera O2V121: 1-Parafuso de Focagem; 2-Acessório de Montagem; 3-Campo de Visão; 5-Distância de Focagem [32].

Estas câmaras actuam por comparação de imagens sendo que possibilitam um ajuste pelo utilizador sobre os elementos de avaliação de uma deposição. Assim sempre que seja notado que foi feita uma avaliação errada (pelo sistema de visão) pode ser adicionada à base de imagens comparativas uma nova imagem dessa deposição.

Para além de tudo, este tipo de equipamentos já é utilizado na FEHST noutros equipamentos pelo que a empresa já se encontra perfeitamente familiarizada com o seu funcionamento.

7.6 Ponta distribuidora

A ponta distribuidora é tida como um dos principais elementos responsáveis pela obtenção de uma boa ou má deposição. No entanto, as regras de determinação de qual o diâmetro interno ideal são regras tidas como empíricas.

No entanto o uso destas regras podem auxiliar a uma primeira abordagem ao problema.

7.6.1 Proposta de solução

Para uma primeira abordagem e sabendo-se qual o volume que se pretende depositar, pode calcular-se o diâmetro de gota (cálculo referido em capítulos anteriores) necessário e pretendido. A partir daqui devem ser testadas, quer a ponta distribuidora de diâmetro calculado, quer as pontas imediatamente anteriores e posteriores à mesma. A partir da selecção destas pontas distribuidoras deve ser calculada a altura de deposição (cálculo referido em capítulos anteriores) e testada qual a ponta que melhor satisfaz as necessidades.

Em qualquer caso, o uso de pontas distribuidoras com mais do que um capilar só deve ser considerado em último caso, uma vez que a garantia de uniformidade de deposições entre capilares é bastante difícil de obter.

7.7 Altura de deposição

Como já referido em capítulos anteriores, um dos problemas do equipamento actual reside no facto de não se conseguir estabelecer, de forma correcta, a altura de deposição, sendo que é necessário ter em conta o cálculo desta. As fórmulas anteriormente apresentadas correspondem a condições e geometrias teóricas e/ou ideais, pelo que na prática podem ser requeridos alguns ajustes. No entanto numa primeira abordagem e para que se tenha uma ideia da altura inicial aproximada, as fórmulas anteriormente propostas deverão ser utilizadas.

No entanto, e apesar do cálculo, é necessário que o equipamento permita um controlo preciso da altura de deposição, o que, e tratando-se no equipamento actual de uma acção manual sobre a regulação de pontas distribuidoras de três capilares, é um controlo bastante aproximado e grosseiro.

7.7.1 Proposta de solução

As propostas de soluções para o controlo da altura de deposição partem de alguns pressupostos:

- Em primeiro lugar é essencial que sejam utilizadas pontas de distribuição de um único capilar;
- Ao contrário do equipamento actual, é necessário que a conexão entre a ponta distribuidora e a válvula de deposição seja feita de forma rígida;
- Caso sejam utilizadas mais do que uma válvula de distribuição (não aconselhável), é necessário que as válvulas apresentem, de construção ou de afinação, as respectivas diferenças de altura.

A proposta de solução baseia-se simplesmente no estabelecimento de um ponto zero, conseguido pelo accionamento das pontas distribuidoras de um sensor de posição, eventualmente do tipo indutivo.

Na Tabela 4 pode ser observado um breve resumo das propostas de solução mais relevantes.

Tabela 4-Resumo de Propostas de Solução.

Pontos a melhorar	Estado Actual	Proposta de Solução
Sistema de Bombeamento	Sistema centralizado	Sistema unitário
Controlo de Pressão de Entrada da Massa Lubrificante	Inexistente	Regulador de Pressão Posterior À Válvula de Distribuição
Válvula de Distribuição	Oito válvulas temporizadoras	Uma válvula de Deslocamento Positivo
Leitura do Caudal Debitado	Inexistente	Sensor Electrónico de Caudal
Inspecção da Deposição	Humana	Inspecção Qualitativa Por Comparação de Imagem (Camaras O2V121)
Seleção da Ponta Distribuidora	Sem método definido	Seleção de Três pontas a Partir das regras que Relacionam o Diâmetro Interno Com o Diâmetro de Gota e Posterior Teste Das Mesmas; Utilização de Uma Ponta Distribuidora Com Um Único Capilar
Controlo da Altura de Deposição	Manual	Sensor de Posição Para Estabelecimento de Um Ponto Zero

8 Conclusões

Este trabalho teve por objectivo o estudo dos parâmetros de influência no processo de lubrificação por deposição automática de massa lubrificante, tendo por base um equipamento de lubrificação presente na empresa FEHST, bem como a proposta de soluções que permitissem um maior controlo do processo produtivo.

Relativamente aos parâmetros de influência, existem parâmetros que são constantes, sendo que, entre estes, os principais são: o diâmetro interno da ponta distribuidora e a altura de deposição. As regras existentes que permitem uma abordagem inicial à determinação destes parâmetros são regras empíricas e, como referido em capítulos anteriores, devem ser tidas apenas como uma abordagem inicial que permite despistar muitas das possíveis opções/soluções aquando da abordagem ao problema. Todavia, os resultados da aplicação destas regras carecem sempre de ajustes práticos. Por outro lado, os parâmetros de influência inconstantes são aqueles que dependem da válvula distribuidora utilizada, isto é, quer o tempo de deposição, quer a pressão da massa lubrificante apresentam níveis de influência distintos para o caso da utilização de uma válvula temporizadora ou de uma válvula do tipo deslocamento positivo.

Relativamente a alterações que possam constituir melhorias ao equipamento actual, quer seja na alteração do mesmo ou na concepção e desenvolvimento de um equipamento futuro, a primeira delas consiste na possível inclusão de um sistema de bombeamento unitário que permitiria uma grande redução da tubagem necessária, podendo esse facto ter como consequência uma redução no fenómeno de separação do óleo e de inclusão de ar na massa lubrificante.

Outra das alterações propostas consiste no recurso a um regulador da pressão da massa lubrificante posicionado anteriormente à válvula de distribuição. O uso deste tipo de válvula permitiria ter um controlo que no equipamento actual é inexistente e

que consiste na alimentação mais próxima da pressão ideal de funcionamento das válvulas distribuidoras. Sendo utilizadas válvulas temporizadoras este facto é de muito maior importância. Contudo, mesmo nos casos em que a utilização recai sobre válvulas de deslocamento positivo, o controlo da pressão no material é essencial pois garante que uma contrapressão exagerada não é exercida. É também o uso de um regulador de pressão na massa lubrificante que permite que se possa manter este parâmetro constante, caso contrário não é possível qualquer controlo sobre o mesmo.

No seguimento do regulador de pressão da massa lubrificante é também sugerida a inclusão de um filtro de impurezas que garanta que as impurezas que possam estar presentes na massa lubrificante, com origem no recipiente de armazenamento, em operações de transferência ou no próprio sistema de bombeamento, não são transferidas para o produto a depositar.

Uma das principais sugestões de alteração consiste no recurso a uma única válvula de distribuição em lugar das oito válvulas presentes no equipamento actual. Esta alteração permitirá, logo à partida, uma diminuição do número dos parâmetros a controlar. No entanto, é também sugerida a alteração do tipo de válvulas para válvulas de deslocamento positivo, as quais apresentam a grande vantagem de reduzirem a dependência da deposição sobre o comportamento da massa lubrificante, o nível de abertura e do tempo de deposição. Com a utilização deste tipo de válvulas, os únicos factores a controlar para que se altere o volume das gotas depositadas são a rotação do parafuso ou, por outro lado, o deslocamento do êmbolo, conforme seja utilizada uma válvula com parafuso de Arquimedes ou uma válvula com êmbolo.

O recurso a um sensor de caudal colocado no seguimento da válvula de distribuição tem como objectivo a obtenção de uma leitura precisa de qual a quantidade de massa lubrificante que as válvulas de distribuição estão a debitar. Assim, em função dessa leitura, seria possível um ajuste controlado e planeado dos parâmetros que alteram o volume de gota depositada.

O sistema de visão integrada, pela utilização de câmaras de inspecção por comparação, tem por objectivo ser um complemento ao sensor de caudal, ou seja, o sensor de caudal executa uma leitura quantitativa do volume debitado pelas válvulas distribuidoras e o sistema de visão integrada executa uma leitura qualitativa sobre se esse volume foi efectivamente depositado no produto a lubrificar.

No que respeita à definição de qual a ponta distribuidora a utilizar, a utilização de pontas com mais do que um capilar deverá ser eliminada e, como já referido, existem regras empíricas que permitem despistar o elevado número de opções existentes. Isto é válido também para a determinação da altura de deposição ideal, sendo que neste caso é necessário ter em conta que, na concepção de um equipamento futuro, este deve ter a possibilidade de se regular e controlar com rigor a altura efectiva da gota depositada, devendo evitar-se a necessidade de ajustes manuais. Isto é, o equipamento desenvolvido deve conter rotinas que lhe permitam determinar e estabelecer o seu ponto zero, o que poderá ser conseguido pelo uso de sensores indutivos que permitam detectar a aproximação das pontas distribuidoras sem que seja necessário um contacto físico.

9 Referências

- [1] Miranda, S., “Noções Básicas de Tribologia”, na Universidade do Minho.
- [2] Zanini, G., Fernandes, J., “Graxas Lubrificantes: Tipos, Classificação e Desempenho”, na Universidade Estadual Paulista, 2010.
- [3] Manuel, A., “Análise da Situação Actual da Gestão de Óleos Lubrificantes Usados”, na Universidade Eduardo Mondlane.
- [4] Página da internet: disponível em <http://www.splabor.com.br/blog/penetrometro/penetrometro-projetado-para-atuar-em-testes-de-penetracao/>.
- [5] TOTAL LUBRIFIANTS, “Greases, Technical guide Characteristics and Tests”.
- [6] Página da internet: disponível em <http://offset3blog.wordpress.com/category/lubrificacao/>.
- [6] TOTAL LUBRIFIANTS, “Greases, Technical guide Characteristics and Tests”.
- [7] Dougs, D., “Time Pressure Dispensing”.
- [8] Página da internet: disponível em <http://www.fisnar.com>.
- [9] Página da internet: disponível em http://www.adhesivedispensing.net/TS7000_8_Auger_Valve_p/ts7000-8.htm.
- [10] EFD, “Auger Valve Dispensing”, 2003.
- [11] Tudor, T., “Ensuring Effective Robotic Dispensing”.
- [12] Página da internet: disponível em <http://news.thomasnet.com/fullstory/Robots-dispense-adhesives-and-sealants-26334>.
- [13] Página da internet: disponível em <http://www.sealantequipment.com/robot-dispensing.htm>.
- [14] Sealent Equipment &Engineering, inc., “Robotic Vision Dispensing Systems”.

- [15] Techcon, “Techcon Systems TS5322 TS5322D Adjustable Mini Spool Valve User Guide”.
- [16] G. P. Reeves Inc, Product Catalog, 2013.
- [17] Miller, M., “Improving the Grease Dispensing Process”.
- [18] Página da internet: disponível em <http://www.directindustry.com/cat/mixing-dosing/dispensing-consumables-BG-1292.html>.
- [19] Página da internet: disponível em http://www.intertronics.co.uk/products/fis_micronsprecision.htm
- [20] Página da internet: disponível em http://www.dispensetips.com/pages/overview_nozzles.html
- [21] Lewis, A., Babiarz, A., “Conductive Adhesive Dispensing Process Considerations”, 1999.
- [22] Hamburg, W., “Precise Robotic Paste Dot Dispensing”, 1989.
- [23] Página da internet: disponível em <http://www.machinerylubrication.com/Read/574/ventmeter-grease>
- [24] Graco inc, “Fluid Basics”, em Minneapolis, 1995.
- [25] Barra, G., Fundamentos de Reologia de Materiais Poliméricos.
- [26] Agernäs, O., Tengberg, T., “Development of two methods to evaluate lubricating greases using a rheometer”, na Chalmers University of Technology, 2011.
- [27] Gotschlich, M., “Escoamento de Fluidos não Newtonianos: Revisão da Literatura e Análise de Correlações Para o Factor de Atrito e Coeficientes de Perda Localizada”, na Universidade Federal de Santa Catarina”, 2011.
- [28] Paszkowski, M., “Some Aspects of Grease Flow in Lubrication Systems and Friction Nodes”.

[29] Pires, C., “Mecânica dos Fluidos”.

[30] US Army Corps of Engineers, “Engineering and Design-Lubricants and Hydraulic Fluids. US Army Corps of Engineers”, Washington DC, 1999.

[31] Pagina da internet: disponivel em <http://equipment.loctite.com/productDetail.cfm?productID=98084>.

[32] IFM Electronic, “Operating Instructions Object Inspection Sensor OV”, 2012.

Anexo A – Massa Lubrificante Berulub FR 43
“Ficha Técnica”

Descrição

A BERULUB FR 43 é uma massa sintética, multi-aplicação”, dinamicamente muito leve e isenta de silicone.

Graças aos aditivos PTFE é recomendada para a lubrificação de longa duração de mecanismos que consistam em contactos de materiais metal/plástico ou plástico/plástico. A BERULUB FR 43 minimiza a fricção e o desgaste, minimiza o fenómeno de “stick-slip” e tem um excelente comportamento a baixas temperaturas.

A BERULUB FR 43 é completamente neutra perante quase todo o tipo de plásticos e elastómeros. Devido às diferentes composições destes materiais é recomendado um teste prévio à sua compatibilidade.

Aplicação

A BERULUB FR 43 melhora consideravelmente o valor de fricção e isto traduz-se num comportamento de deslize muito mais favorável dos plásticos e elastómeros em aço e metais não-ferrosos nos seguintes mecanismos: sistemas de fechaduras, sistemas de fechos centrais, elevadores de vidros, tectos de abrir, guias de assentos, cabos “bowden”, assim como pequenas engrenagens.

Vantagens / Benefícios

- Lubrificante especial para metais e materiais poliméricos.
- Temperatura de serviço –50 °C a +140 °C.
- Excelente comportamento a baixa temperatura.
- Resistência à água e estabilidade à oxidação. Especialmente compatível para contactos plástico/plástico e aço/plástico.
- Aprovada de acordo com VW-TL 778 B. Ford WSD-M1C 234 -A2
- Consistência NLGI 2.
- Designação de acordo com DIN 51 502: KFHC 2N – 50.

- Lubrificante sólido: pó micro fino PTFE.

Dados Técnicos

Dados Técnicos

Características	Unidade	Valor	Norma
Espessante		sabão de Lítio especial	
Ponto de Gota	°C	> 190	IP 396
Penetração Trabalhada	1/10 mm	265-295	DIN ISO 2137
Teste Corrosão (Emcor)	grau	0 e 0	DIN 51 802
Teste Corrosão em Cobre (24h/100 °C)	grau	1	DIN 51 811
Resistência à Água		0-90	DIN 51 807
Estabilidade à Oxidação (100h/99 °C)	bar	0,15	DIN 51 508
Pressão da Fluidez a + 20 °C -35 °C	mbar mbar	110 = 450	DIN 51 805
Oleo Base		óleo sintético	
Viscosidade a 40 °C a 100 °C	cSt cSt	cerca de 35 cerca de 6	DIN 51 562
Ponto de Inflamação	°C	> 240	DIN ISO 2592
Ponto de Fluxão	°C	cerca de -60	DIN ISO 3016